



TUGAS AKHIR - TE 141599

**DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI CAIR
DENGAN TEKNIK *ULTRA HIGH FREQUENCY* (UHF)**

Hadi Lizikri Al - Azmi
NRP 07111440000077

Dosen Pembimbing
Danar Fahmi, ST., MT.
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

**PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON LIQUID
INSULATION BY USING ULTRA HIGH FREQUENCY
TECHNIQUE**

Hadi Lizikri Al - Azmi
NRP 07111440000077

Dosen Pembimbing
Danar Fahmi, ST.,MT.
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “**Deteksi *Partial Discharge* pada Isolasi Cair dengan Teknik *Ultra High Frequency (UHF)***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 27 Mei 2018

Hadi Lizikri Al Azmi
NRP. 0711144000077

**DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI CAIR
DENGAN TEKNIK ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

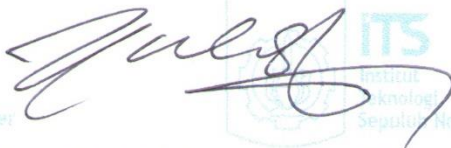
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Deniar Fahmi, ST., MT.

NIP. 19890925 201404 1002



Dr. Eng. I Made Yulistya N., ST., M.Sc.

NIP. 19700712 199802 1001



DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI CAIR DENGAN TEKNIK *ULTRA HIGH FREQUENCY* (UHF)

Nama : Hadi Lizikri Al - Azmi
NRP : 07111440000077
Pembimbing I : Daniar Fahmi, ST.,MT.
Pembimbing II : Dr. Eng. IMade Yulistya Negara, ST., MSc.

ABSTRAK

Partial Discharge (PD) merupakan suatu fenomena yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi ketika *pre-breakdown*. Kondisi ini menghubungkan dua elektroda yang seharusnya terpisah. *Partial Discharge* dapat terjadi pada isolasi minyak sehingga menyebabkan penurunan kualitas dari *transformator* dan *circuit breaker* tegangan tinggi. Kerusakan tersebut terjadi karena setelah PD akan terjadi *breakdown voltage* yang akan menghasilkan panas, *arc* dan karbonisasi. Tugas akhir ini bertujuan untuk mendeteksi PD pada beberapa kondisi serta memvalidasi hasil sehingga dapat menghindari fenomena *breakdown* yang menghasilkan *arc*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pembangkitan tegangan tinggi AC berelektroda *point to plane*. *Partial Discharge* yang dihasilkan pada isolasi cair akan dideteksi dengan metode UHF dan *leakage current*. Metode UHF mendeteksi PD dengan antenna dan menghasilkan sinyal digital dan *spectrum waterfall*. Sinyal tersebut akan dikonversi menjadi kuat sinyal (dBm) agar hasil dapat dianalisa. Metode *leakage current* mendeteksi arus bocor yang di plot menjadi sinyal arus. Analisa dilakukan pada beberapa kondisi jarak dan diameter elektroda. Hasil yang diperoleh adalah perubahan kuat sinyal yang dipengaruhi oleh diameter dan jarak elektroda. Hasil akan divalidasi dan dibandingkan dengan metode *leakage current* dan *waterfall spectrum*. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa Metode UHF dapat menampilkan perbedaan kuat sinyal untuk deteksi *Partial Discharge* mulai kondisi normal, *pre-breakdown*, hingga *breakdown* sedangkan metode *leakage current* hanya dapat mendeteksi PD beberapa saat sebelum *breakdown*.

Kata kunci: diameter, jarak, *Leakage Current*, *Partial Discharge*, UHF

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON LIQUID INSULATION BY USING ULTRA HIGH FREQUENCY TECHNIQUE

Nama : Hadi Lizikri Al - Azmi
NRP : 0711144000077
Advisor I : Daniar Fahmi, ST.,MT.
Advisor II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., MSc.

ABSTRACT

Partial Discharge (PD) is a phenomenon happened in high voltage equipment when *pre-breakdown* condition. This condition connected two electrodes which should be separated. Partial Discharge can occur in oil insulation causing degradation quality of transformer and high voltage circuit breaker. The damage occurs because *breakdown* voltage will occur after PD and will generate heat, arc and carbonization. This final project aims to detect PD in several conditions and validate the results then avoid the arc from *breakdown* phenomenon. Experiment using AC high voltage generation with point to plane electrode. Partial discharge that generated in liquid insulation will be detected by UHF and leakage current methods. UHF method detects PD with antenna and produces digital signal and spectrum waterfall. The signal will be converted to signal strength (dBm) for analysis purpose. Leakage current method detects leakage current then plot it into current signal. Analyzes were performed on some electrode gap distance conditions and diameter. The results are changes of power signals affected by diameter and gap distance of the electrode. The results will be validated and compared with leakage current and waterfall spectrum methods. Based on these results it is known that UHF method can detect power signal better than other method with high sensitivity. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa Metode UHF dapat menampilkan perbedaan kuat sinyal untuk deteksi Partial Discharge mulai kondisi normal, *pre-breakdown*, hingga *breakdown* sedangkan metode leakage current hanya dapat mendeteksi PD beberapa saat sebelum *breakdown*.

Keyword: Diameter, Gap distance, Leakage current, Spectrum waterfall, Partial Discharge, UHF

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berjudul:

DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI CAIR DENGAN TEKNIK *ULTRA HIGH FREQUENCY* (UHF)

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Kuasa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Bapak Rayendra, Ibu Irzamiati, Adik Jihan Mardiah, Daning Wiranty serta seluruh keluarga besar yang tak terlupakan jasanya dalam mendampingi saya hingga menjadi seorang sarjana.
3. Bapak Daniar Fahmi, ST.,MT., dan Bapak Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST.,M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan berbagi ilmu selama penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T, M.Eng. selaku Ketua Jurusan serta seluruh dosen dan karyawan yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya selama proses perkuliahan di Teknik Elektro ITS.
5. Luthfi Lukman Hakim, Reno Hidayat, Prasetyo Tri Anggoro, Rizki Arvianta, Jason Dinovan Todo Tambun, Kadek Suparta Anugrah, Della Maily, Mas Arief Budi Ksatria, dan Mas Mochammad Wahyudi yang senantiasa membantu memberikan masukan dalam penulisan tugas akhir ini.
6. Seluruh keluarga Kalpataru yang senantiasa memberi dukungan selama masa perkuliahan
7. Teman-teman asisten Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
8. Seluruh keluarga besar e-54 atas semangat dan motivasi selama 4 tahun di jurusan teknik elektro.

9. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu persatu yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, 27 Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
TABLE OF CONTENT.....	Error! Bookmark not defined.
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Metodologi	2
1.5 Sistematika	3
1.6 Relevansi	4
BAB II FENOMENA <i>PRE-BREAKDOWN</i> TEGANGAN TINGGI PADA ISOLASI MINYAK	7
2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC.....	7
2.2 Isolasi Cair.....	8
2.3 Kekuatan Dielektrik.....	10
2.4 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Cair	11
2.4.1 Teori Kegagalan Elektronik	12
2.4.2 Teori Kegagalan Kavitasi (<i>Cavity Breakdown</i>).....	13
2.4.3 Teori Kegagalan Bola Cair dalam Media Isolasi Cair	14
2.5 Klasifikasi Frekuensi.....	15
2.6 <i>Radio Frequency Gain (RF Gain)</i>	17
2.7 <i>Antena Monopole</i>	18
2.8 Satuan Ukur Telekomunikasi.....	19
2.8.1 Satuan Daya (dBw dan dBm).....	19
2.8.2 Satuan Tegangan (dBV).....	20
2.8.3 Satuan Digital (dBfs)	20
BAB III ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA	21
3.1 Alat Pengujian	21
3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC.....	22

3.1.2	Elektroda Uji	23
3.1.3	Minyak Isolasi.....	24
3.1.4	Peralatan Akuisisi Data	26
3.2	Pengambilan Data.....	27
3.2.1	SDRSharp	27
3.2.2	Lab VIEW dan Diadem.....	30
BAB IV	ANALISIS DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI CAIR DENGAN METODE UHF	33
4.1	Proses Terjadinya Fenomena <i>Partial Discharge</i> pada Isolasi Minyak.....	33
4.2	Faktor yang Mempengaruhi <i>Partial Discharge</i> dengan Metode UHF (<i>Ultra High Frequency</i>) pada 2 Bahan Elektroda	33
4.2.1	Pengaruh Jarak dan Diameter elektroda terhadap Deteksi <i>Partial Discharge</i> Bahan <i>Stainless Steel</i>	34
4.2.1.1	<i>Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 1 mm Bahan Stainless Steel</i>	35
4.2.1.2	<i>Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 2 mm Bahan Stainless Steel</i>	37
4.2.1.3	<i>Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 6 mm Bahan Stainless Steel</i>	39
4.2.2	Pengaruh Jarak terhadap Deteksi <i>Partial Discharge</i> Bahan Tembaga.....	41
4.2.2.1	<i>Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 2 mm Bahan Tembaga</i>	41
4.2.2.2	<i>Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 5 mm Bahan Tembaga</i>	43
4.2.2.3	<i>Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 6 mm Bahan Tembaga</i>	45
4.3	Validasi Data Menggunakan Metode <i>Leakage Current</i>	51
4.4	Validasi Data menggunakan Spektrum Warna.....	58
4.5	Komparasi Metode Deteksi <i>Partial Discharge</i> dengan Metode UHF dan <i>Leakage Current</i>	59
BAB V	PENUTUP	61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	61
	DAFTAR PUSTAKA	63
	RIWAYAT HIDUP	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar	2.1	(a) Konfigurasi trafo, (b) Rangkaian ekuivalen trafo	8
Gambar	2.2	Orde tingkat kegagalan material isolasi	10
Gambar	2.3	Orde tingkat kegagalan material isolasi	11
Gambar	2.4	Kegagalan elektronik	12
Gambar	2.5	Kegagalan elektronik	14
Gambar	2.6	Medan listrik bentuk sferoida	15
Gambar	2.7	<i>Vertical monopole</i> diatas <i>ground</i>	19
Gambar	3.1	Skema perencanaan alat pengujian	21
Gambar	3.2	Alat pengujian yang digunakan	22
Gambar	3.3	Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC	23
Gambar	3.4	Elektroda <i>point to plane</i> yang digunakan (a) Tembaga 5mm (b) Tembaga 6 mm (c) Tembaga 2 mm (d) <i>stainless steel</i> 6 mm (e) <i>stainless steel</i> 2 mm (f) <i>stainless steel</i> 1 mm (g) elektroda datar	24
Gambar	3.5	Minyak <i>shell Diala S2 ZU-I Dried</i>	24
Gambar	3.6	Skema kerja modul RTL-SDR	27
Gambar	3.7	Pengaturan software SDRSharp	28
Gambar	3.8	hasil pengambilan sinyal, dBfs dan <i>spectrum waterfall</i>	29
Gambar	3.9	Tampilan sinyal (b) blok diagram pada labview	31
Gambar	3.10	(a)Tampilan sinyal pada DIAdem (b) tampilan sinyal pada matlab	31
Gambar	4.1	Grafik kuat sinyal pengujian elektroda <i>point to plane</i> bahan <i>stainless steel</i> diameter 1 mm	35
Gambar	4.2	Grafik kuat sinyal pengujian elektroda <i>point to plane</i> bahan <i>stainless steel</i> diameter 2 mm	37
Gambar	4.3	Grafik kuat sinyal pengujian elektroda <i>point to plane</i> bahan <i>stainless steel</i> diameter 6 mm	39
Gambar	4.4	Grafik kuat sinyal pengujian elektroda <i>point to plane</i> bahan tembaga diameter 2 mm	42
Gambar	4.5	Grafik kuat sinyal pengujian elektroda <i>point to plane</i> bahan tembaga diameter 5 mm	44
Gambar	4.6	Grafik kuat sinyal pengujian elektroda <i>point to plane</i> bahan tembaga diameter 6 mm	46
Gambar	4.7	Grafik kuat sinyal pengujian 3 macam model diameter elektroda <i>point to plane</i> bahan <i>stainless steel</i> dengan jarak sela 1 cm	48

Gambar 4.8	Grafik kuat sinyal pengujian 3 macam model diameter elektroda <i>point to plane</i> bahan tembaga dengan jarak sela 1 cm	48
Gambar 4.9	Grafik kuat sinyal pengujian 3 macam model diameter elektroda <i>point to plane</i> bahan <i>stainless steel</i> dengan jarak sela 1.5 cm	48
Gambar 4.10	Grafik kuat sinyal terhadap tegangan dengan 2 bahan berbeda pada jarak sela 1 cm dan diameter 2 mm.	49
Gambar 4.11	Grafik kuat sinyal terhadap tegangan dengan 2 bahan berbeda pada jarak sela 2 cm dan diameter 2 mm.	50
Gambar 4.12	Grafik kuat sinyal terhadap tegangan dengan 2 bahan berbeda pada jarak sela 1 cm dan diameter 6 mm	50
Gambar 4.13	Grafik kuat sinyal terhadap tegangan dengan 2 bahan berbeda pada jarak sela 2 cm dan diameter 6 mm	50
Gambar 4.14	Grafik tegangan terhadap arus pada <i>pre-breakdown</i> hingga <i>breakdown</i>	51
Gambar 4.15	Grafik <i>Leakage Current</i> elektroda <i>stainless steel</i> diameter 1 mm	52
Gambar 4.16	Grafik <i>Leakage Current</i> elektroda <i>stainless steel</i> diameter 2 mm	53
Gambar 4.17	Grafik <i>Leakage Current</i> elektroda <i>stainless steel</i> diameter 6 mm	54
Gambar 4.18	Grafik <i>Leakage Current</i> elektroda tembaga diameter 2 mm	55
Gambar 4.19	Grafik <i>Leakage Current</i> elektroda tembaga diameter 5 mm	56
Gambar 4.20	Grafik <i>Leakage Current</i> elektroda tembaga diameter 6 mm	57
Gambar 4.21	<i>Spectrum waterfall</i> elektroda <i>point to plane</i> jarak 1 hingga 2 cm dengan diameter 2mm	58
Gambar 4.22	Perbedaan deteksi <i>partial discharge</i> dengan metode UHF dan <i>leakage current</i>	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spektrum Frekuensi Radio	16
Tabel 2.2	Fungsi gelombang frekuensi.....	17
Tabel 3.1	Spesifikasi peralatan pembangkitan tegangan tinggi DC	23
Tabel 3.2	Spesifikasi bahan dan diameter elektroda jarum	24
Tabel 3.3	Datasheet <i>shell Diala S2 ZU-I Dried</i>	25
Tabel 3.4	Spesifikasi <i>Current Transformer</i> (CT).....	26
Tabel 3.5	Spesifikasi Modul RTL-SDR.....	27
Tabel 4.1	Tabel sinyal digital elektroda bahan <i>stainless steel</i> berdiameter 1 mm	36
Tabel 4.2	Tabel kuat sinyal elektroda bahan <i>stainless steel</i> berdiameter 1 mm	36
Tabel 4.3	Tabel sinyal elektroda bahan <i>stainless steel</i> berdiameter 2 mm	38
Tabel 4.4	Tabel kuat sinyal elektroda bahan <i>stainless steel</i> berdiameter 2 mm	38
Tabel 4.5	Tabel sinyal digital elektroda bahan <i>stainless steel</i> berdiameter 6 mm	40
Tabel 4.6	Tabel kuat sinyal elektroda bahan <i>stainless steel</i> berdiameter 6 mm	40
Tabel 4.7	Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 2 mm	42
Tabel 4.8	Tabel kuat sinyal elektroda bahan tembaga berdiameter 2 mm.....	43
Tabel 4.9	Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 5 mm	44
Tabel 4.10	Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 5 mm	45
Tabel 4.11	Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 6 mm	46
Tabel 4.12	Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 6 mm	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik memanfaatkan beberapa macam peralatan tegangan tinggi untuk pembangkitan, transmisi dan distribusi. Peralatan – peralatan tegangan tinggi mencakup transformator, generator, *circuit breaker*, kabel tegangan tinggi, dan lain – lainnya[1]. Peralatan tersebut biasanya menggunakan isolasi berupa gas, cair dan padat. Isolasi memiliki sifat dan kemampuan yang berbeda – beda sehingga impelementasi setiap tipe juga tidak sama .

Isolasi cair berupa minyak umumnya dimanfaatkan untuk pemadaman *arc circuit breaker* dan pendingin minyak transformator. Isolasi cair memiliki keunggulan berupa kemampuan dielektrik yang lebih baik dibandingkan isolasi gas dan memiliki kemampuan *self - healing* (perbaikan diri sendiri) apabila terjadi pelepasan muatan. Isolasi cair tetap tidak sempurna sehingga potensi terjadinya *partial discharge* (PD) dan tegangan tembus tetap ada[2].

Partial Discharge (PD) merupakan suatu fenomena yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi berupa peluahan sebagian sehingga menghubungkan dua elektroda terpisah[3]. *Partial Discharge* yang akan dibahas berupa PD pada isolator cair / *liquid* berupa minyak trafo. Fenomena yang terjadi pada isolator cair terjadi karena adanya perpindahan elektron pada media *liquid* sehingga menyebabkan kegagalan. PD dapat menjadi salah satu penyebab penurunan kualitas dari peralatan tegangan tinggi karena PD menghasilkan panas, *arc* dan karbonisasi pada peralatan. Apabila peralatan tersebut tidak dilakukan pemeliharaan / *maintenance* maka peningkatan karbonisasi akan menuju *breakdown* sepenuhnya sehingga *arc* akan merusak peralatan listrik[4].

Studi sebelumnya telah menjelaskan metode deteksi *partial discharge* menggunakan *Software Defined Radio*. Metode sebelumnya hanya membahas deteksi pada isolasi gas serta tidak menjelaskan pengaruh jarak dan diameter elektroda terhadap hasil deteksi. Selain itu, studi tersebut masih mendeteksi *noise* sehingga hasil yang diterima masih belum akurat[5] [6].

Berdasarkan kondisi tersebut tugas akhir ini akan membahas teknologi deteksi PD menggunakan antenna yang memiliki potensi lebih baik dan harga lebih murah dibandingkan metode sebelumnya. Deteksi

PD pada antenna dilakukan pada frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*) sebesar 630 MHz. Kondisi yang dideteksi mulai dari elektroda belum bertegangan, *Pre-Breakdown* dan *breakdown*. Pembangkitan yang digunakan adalah pembangkitan tegangan tinggi AC dengan elektroda *point to plane* (jarum ke datar). Analisa dilakukan terhadap perubahan jarak, diameter dan bahan elektroda. Peralatan untuk menunjang pengujian adalah National Instrument (NI) arus. Kuat sinyal yang didapatkan oleh antenna dari modul RTL-SDR akan dibandingkan dengan sinyal arus dari NI dan *spectrum waterfall* untuk memvalidasi sinyal yang ditangkap oleh antenna. Penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi solusi baru serta menjadi acuan perkembangan deteksi PD dimasa mendatang.

1.2 Permasalahan

Pengujian deteksi partial discharge pada isolasi cair dilakukan dengan metode UHF dan *leakage current*. Pembangkitan tegangan tinggi menggunakan rangkaian AC. Pengujian dilakukan dari kondisi normal hingga *breakdown*. Variabel yang berubah adalah diameter elektroda, jarak antar elektroda dan bahan elektroda.

Analisa dilakukan pada hasil kuat daya yang telah dikonversi dari dBfs dan sinyal arus. Kedua data tersebut akan dibandingkan sehingga dapat diketahui metode mana yang lebih baik.

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mendeteksi sinyal berfrekuensi tinggi yang dihasilkan oleh pengujian isolasi cair berelektroda *point to plane* dengan metode UHF
2. Menganalisis sinyal yang diterima oleh antenna saat terjadi perubahan jarak, diameter dan bahan elektroda.
3. Validasi kuat sinyal yang diperoleh dari metode UHF dengan metode *leakage current*.
4. Validasi kuat sinyal yang diperoleh dari metode UHF dengan analisa *spektrum waterfall*.
5. Membandingkan metode deteksi partial discharge dengan menggunakan metode UHF dan *leakage current*.

1.4 Metodologi

Eksperimen dilakukan secara bertahap dengan beberapa peralatan pendukung. Pertama adalah *setup* pembangkitan tegangan tinggi AC

dengan menggunakan elektroda *point to plane* (tajam ke datar). Variasi akan dilakukan terhadap diameter elektroda tajam dan jarak antar kedua elektroda. Langkah selanjutnya adalah pemasangan alat pendeteksi berupa antenna dan national instrument (NI) arus yang terhubung dengan *current transformator* (CT). Antenna akan disambungkan dengan *software* SDRSharp dan NI akan tersambung dengan *software* Labview.

Software SDRSharp dan Labview di atur sesuai dengan kebutuhan untuk pengambilan data. Pengaturan yang dilakukan untuk SDRSharp berupa *noise*, *Filter*, *Radio Frequency Gain* (RF Gain), *sampling mode*, dan titik frekuensi. Frekuensi yang diambil pada pengujian adalah frekuensi 603 MHz. Pengaturan yang dilakukan pada labview adalah pembuatan rangkaian pengambilan data, frekuensi sampling, dan *sample rate*.

Data yang dianalisa pada tugas akhir ini adalah sinyal yang dideteksi oleh antenna dan NI. Sinyal yang didapatkan oleh antenna akan direkam dan ditandai saat *Pre-Breakdown* dan *breakdown*. Sinyal tersebut berupa DBfs (DB full scale) yang kemudian akan di konversi menjadi kuat sinyal (dBm) untuk mengetahui apabila adanya medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh PD. *Spektrum waterfall* warna yang terlihat pada software SDRSharp juga akan dijadikan penanda saat munculnya PD. Selain itu, untuk memastikan sinyal yang didapatkan oleh antenna maka dibandingkan dengan sinyal yang didapatkan oleh NI arus. Sinyal pada NI arus akan diklasifikasikan pada 3 bagian yaitu normal, *pre-breakdown* dan *breakdown*.

Data yang telah didapatkan akan diolah hingga mengetahui *electrical characteristic* dari PD tersebut. Setiap kondisi akan klasifikasikan dan dilakukan pendekatan berdasarkan referensi tertentu. Setelah semua sudah siap maka tahap akhir akan dilakukan penulisan buku tugas akhir dan publikasi ilmiah

1.5 Sistematika

Tugas akhir ini memiliki 5 bab yang diuraikan secara sistematis pada poin poin berikut:

Bab 1 : Pendahuluan

Bab pendahuluan memiliki 6 subbab yang terdiri atas latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika dan relevansi. Latar belakang membahas keseluruhan penelitian mulai dari permasalahan hingga solusi yang ditawarkan. Permasalahan menjelaskan hal – hal yang dibahas dan

dianalisis pada tugas akhir ini. Metodologi membahas langkah–langkah yang dilakukan untuk penelitian tugas akhir. Sistematika menjelaskan tentang struktur dari tugas akhir ini. Relevansi merupakan manfaat dari tugas akhir ini terhadap beberapa instansi.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka membahas teori penunjang yang digunakan untuk membahas tugas akhir ini. Teori penunjang mencakup pembangkitan tegangan tinggi AC, isolasi minyak, partial discharge, dan *low cost RTL dongle*.

Bab 3 : Alat Pengujian dan Pengambilan Data

Bab 3 akan membahas tentang alat pengujian dan metode pengambilan data. Alat pengujian yang dibahas adalah skema pengujian, rangkaian pembangkitan AC, jenis dan jarak elektroda uji, minyak isolasi, pengaturan program SDR-Sharp, dan pengaturan national instrument (NI), serta metode pengambilan data.

Bab 4 : Analisa Data

Bab analisa data akan membahas tentang hasil yang telah diperoleh dari pengujian/ eksperimen. Materi yang akan dibahas berupa mekanisme terjadinya fenomena *pre-breakdown voltage* pada isolasi minyak yang kemudian akan dilanjutkan dengan analisa sinyal yang telah di dapatkan pada antenna dan NI. Analisa selanjutnya adalah pengaruh jarak, ukuran elektroda dan bahan terhadap pengujian.

Bab 5 : Penutup

Bab 5 (Penutup) akan membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisa eksperimen deteksi *partial discharge* dengan menggunakan metode UHF (*ultra high frequency*).

1.6 Relevansi

Tugas akhir ini dapat dimanfaatkan oleh beberapa pihak sebagai berikut:

1. Industri

Industri yang bergerak dibidang kelistrikan sistem tenaga dapat memanfaatkan metode pada tugas akhir ini untuk mendeteksi *partial discharge* pada peralatan. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah serta menekan biaya deteksi partial discharge yang saat ini masih kurang sempurna.

2. Peneliti

Hasil eksperimen pada buku tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi salah satu bahan referensi terhadap peneliti.

3. Mahasiswa

Penelitian pada buku tugas akhir ini dapat dimanfaatkan sebagai referensi penelitian serta disempurnakan lagi untuk menghasilkan metode deteksi terbaik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

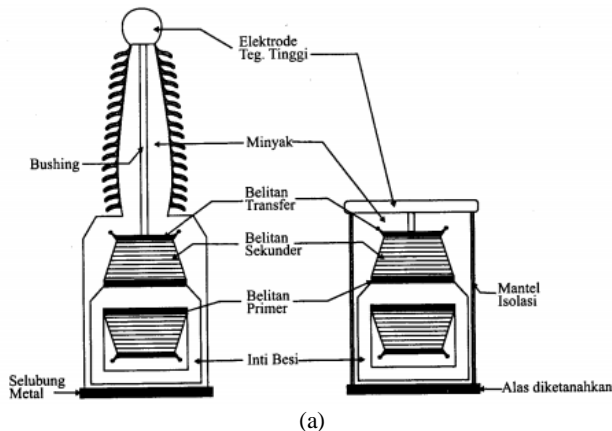
BAB II

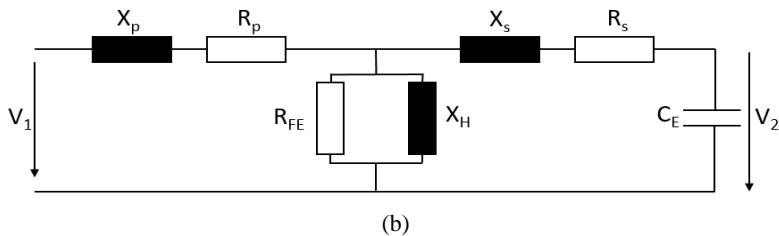
FENOMENA *PRE-BREAKDOWN* TEGANGAN TINGGI PADA ISOLASI MINYAK

2.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Tegangan tinggi menurut IEC bernilai diatas 1000V atau 1kV sedangkan menurut sistem transmisi nilai tegangan tinggi dimulai dari 20kV. Tegangan tinggi yang digunakan oleh Indonesia pada saluran transmisi adalah tegangan tinggi AC. Tegangan tinggi DC umumnya digunakan hanya untuk pengujian.

Pembangkitan tegangan tinggi umumnya memiliki konstruksi yang tidak kompleks dan digunakan untuk pengujian isolasi. Pembangkitan tegangan tinggi AC menggunakan trafo uji yang memiliki daya relatif kecil. Perbandingan jumlah lilitan lebih besar dibandingkan dengan trafo daya karena tegangan masukan (*input*) hanya 127V hingga 220V sedangkan output yang dikeluarkan sangat besar. Trafo yang digunakan biasanya adalah 1 fasa. Trafo uji terdiri atas 2 model yaitu tanpa *bushing* dan dengan *bushing*. Desain trafo uji ditampilkan pada gambar 2.1(a). Konfigurasi rangkaian kedua model sama. Trafo uji terdiri atas komponen RLC yang divisualisasikan seperti rangkaian ekuivalen Gambar 2.1 (b) [7].





Gambar 2. 1 (a) Konfigurasi trafo, (b) Rangkaian ekuivalen trafo

2.2 Isolasi Cair

Isolasi cair merupakan bahan berupa cairan yang digunakan untuk memisahkan 2 konduktor agar tidak terjadi loncatan listrik (*flash-over*) atau percikan (*spark*). Isolasi cair dapat digunakan untuk isolasi dan pendingin trafo. Selain itu, isolasi cair dapat dimanfaatkan untuk pemadam busur api pada rangkaian pemutus minyak di *Circuit Breaker*. Karakteristik dari isolasi cair adalah sebagai berikut:

- *Withstand Breakdown* merupakan kemampuan dalam mempertahankan kemampuan isolasi saat adanya tekanan listrik (*electric stress*) yang tinggi. Tegangan pada isolasi cair harus lebih tinggi dari tegangan *rating* karena terdapat kemungkinan adanya *overvoltage* dari system tersebut.
- Permittivitas relatif dari isolasi minyak ditentukan oleh kapasitansi listrik per unit volume. Minyak petroleum dapat dijadikan contoh yang memiliki permittivitas yang baik yaitu 2 atau 2.5. Permittivitas pada suatu dielektrik dipengaruhi oleh suhu udara. Suhu udara dipengaruhi oleh magnitude dan frekuensi dari tegangan suplai. Permittivitas dari suatu media isolasi dapat dirumuskan pada persamaan 2.1 :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \quad (2.1)$$

Dimana:

ε = Permittivitas media isolasi

ε_0 = Permittivitas ruang hampa ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m)

ε_r = Permittivitas relatif

- Disipasi faktor daya dari minyak dibawah tekanan bolak balik dan tinggi akan menjadi faktor penentu kualitas minyak karena berpengaruh terhadap rugi – rugi dielektrik. Faktor disipasi minyak

yang baik menurut IEC 60247 maksimum adalah 0.005 (kondisi baru). Contohnya adalah disipasi faktor daya dari minyak shell diala B saat suhu 90°C adalah 0.002.

- Resistivitas pada isolasi cair haruslah lebih besar dari 10^9 ohm-meter dan pada tegangan tinggi harus lebih besar dari 10^{16} ohmmeter. Resistivitas dipengaruhi oleh konduktivitas dari bahan tersebut. Hal tersebut dibuktikan dengan rumus pada persamaan 2.2 [8] :

$$\rho_{ins} = \frac{1}{\kappa_{dc}} \quad (2.2)$$

Dimana,

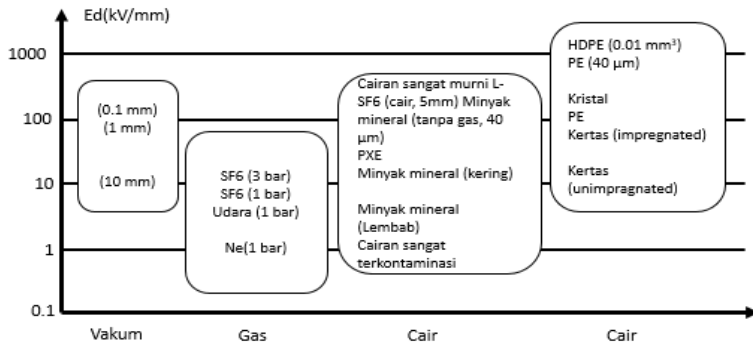
ρ_{ins} = resistivitas bahan dielektrik ($\Omega.m$)

κ_{dc} = Konduktivitas dielektrik

Isolasi cair memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

- Kerapatan isolasi cair adalah 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas sehingga nilai kekuatan dielektrik isolasi ini lebih tinggi menurut kurva paschen
- Isolasi cair akan mengisi *gap* (celah) dan langsung menghilangkan panas yang timbul melalui proses konveksi.
- Isolasi cair memiliki kemampuan memperbaiki diri sendiri/ *self healing* saat adanya *discharge*.

Isolasi cair lebih baik dibandingkan isolasi gas akan tetapi jika dibandingkan dengan isolasi padat maka kemampuan isolasi cair masih dibawahnya. Isolasi cair memiliki beberapa kelemahan berupa kekuatan elektrik berkurang akibat penuaan dan kontaminasi, pemuatan panas, membutuhkan wadah kedap air dan harga lebih mahal. Perbandingan kegagalan isolasi dari material yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.2 [7].



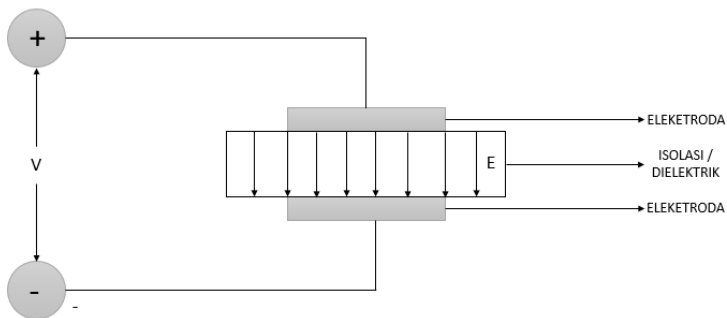
Gambar 2. 2 Orde tingkat kegagalan material isolasi

2.3 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik merupakan ukuran kemampuan suatu peralatan / material dalam bertahan terhadap suplai tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan. Kekuatan dielektrik isolasi cair tergantung pada sifat atom dan cairan. Namun pada prakteknya, kekuatan dielektrik tergantung pada suhu, jarak elektroda, bahan elektroda, kandungan gas yang mengakibatkan perubahan sifat molekul cairan. Kekuatan dielektrik pada isolasi cair setara dengan tegangan kegagalan yang terjadi. Kekuatan dielektri dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Dielectric strenght} = \frac{\text{Breakdown Voltage}}{\text{Jarak antar elektroda}} \quad (2.3)$$

Teori dasar dielektrik adalah 2 konduktor yang dipisahkan oleh suatu isolasi akan menghasilkan medan diantaranya. Medan listrik ini memberikan gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya menjadi elektron bebas. Sehingga menimbulkan medan listrik menjadi beban terhadap dielektrik dan bersifat sebagai konduktor. Bahan dielektrik memiliki batas pembebanan. Beban yang sudah melebihi batas akan menghantarkan arus dan menjadi bahan konduktif. Ilustrasi arah medan listrik terdapat pada gambar 2.3. Medan yang dihasilkan oleh bahan dielektrik tersebut dipengaruhi oleh jarak dan tebal isolasi. Teori tersebut dirumuskan sebagai berikut :



Gambar 2. 3 Orde tingkat kegagalan material isolasi

$$E = \frac{V}{d} \quad (2.4)$$

Dimana :

- E = Kuat medan listrik yang dapat ditahan oleh dielektrik (kV/cm)
- V = Tegangan maksimum yang dapat dibaca alat ukur (kV)
- d = Tebal isolasi

2.4 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Cair

Tegangan pada isolasi adalah suatu tekanan yang harus dilawan oleh gaya pada isolasi tersebut. Prinsip dasar pada struktur molekul isolasi adalah elektron-elektron terikat pada molekulnya. Lalu karena adanya tegangan maka elektron yang masih terikat mengadakan perlawanan. Apabila ikatan elektron tersebut putus pada lokasi tertentu maka sifat isolasi pada lokasi tersebut hilang karena telah terurai menjadi elektron bebas).

Terdapat tiga bentuk kegagalan isolasi zat cair, yaitu partikel padat, uap air (*moisture*), dan gelembung gas. Bentuk partikel padat yang terbentuk merupakan efek yang terjadi akibat adanya pemanasan (*thermal stress*) dan tegangan lebih. Bentuk uap air terbentuk jika terdapat medan listrik yang mana molekul uap air yang terlarut memisah dari isolasi cair lalu terpolarisasi membentuk suatu dipol. Bentuk gelembung gas disebabkan karena adanya gelembung-gelembung gas dalam isolasi cair tersebut.

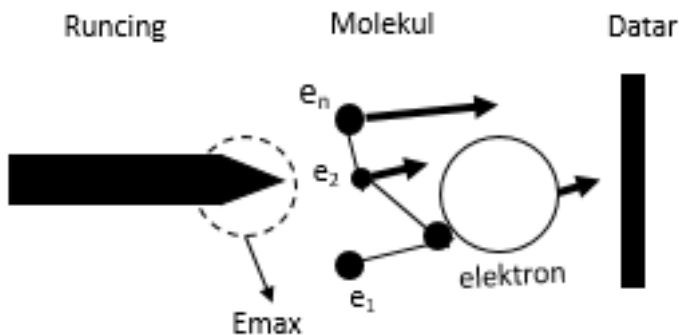
Kegagalan pada isolasi cair dipengaruhi oleh beberapa oleh jenis bahan, besar tegangan yang di suplai, bentuk, material, dan kesempurnaan

elektroda. Kegagalan elektrik pada isolasi cair memiliki 4 teori dasar yaitu kegagalan elektronik, kavitasi, bola cair dan butiran pada pada isolasi cair [7] [9].

2.4.1 Teori Kegagalan Elektronik

Teori kegagalan elektronik atau biasa disebut dengan samaran peluahan gas merepakan penambahan dari teori kegagalan isolasi gas. Teori kegagalan elektronik memiliki kesamaan dengan kegagalan isolasi gas. Teori ini memerlukan elektron awal yang dari kedua elektroda dan dimasukkan kedalam media isolasi cair, elektroda yang teremis akibat medan akan menjadi awal mulanya proses kegagalan. Medan yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh diameter elektroda. Elektroda dengan diameter lebih kecil akan mengumpulkan medan yang besar pada satu titik sehingga akan membentuk banjiran elektro (*avalanche*). Gambar 2.4 menampilkan proses banjiran tersebut.

Elektron yang sudah disuplai dalam isolasi cair akan menyerap energi dari medan yang telah terbentuk pada elektroda. Teori elektronik mengasumsikan bahwa beberapa elektron menyerap lebih banyak energi dari medan dibandingkan kemudian akan terjadi tabrakan antar molekul. Elektron tersebut akan berakselerasi hingga mendapatkan energi yang cukup untuk mengionisasi molekul pada saat tabrakan dan mulai terjadi banjiran. Kondisi untuk melakukan banjiran elektron didapatkan melalui persamaan penguatan energi dari sebuah elektron melalui *free mean path* yang dibutuhkan untuk ionisasi molekul. Proses tersebut dapat dituliskan sesuai persamaan (2.5) [9].



Gambar 2. 4 Kegagalan elektronik

$$chv = e E \lambda \quad (2.5)$$

Dimana:

- c = konstanta *arbitrary*
- h ν = kuantum energi untuk mengionisasikan molekul (joule)
- e = jumlah elektron bebas
- E = medan yang diterapkan (Vcm⁻¹)
- λ = lintasan *free mean path* (cm)

2.4.2 Teori Kegagalan Kavitasi (*Cavity Breakdown*)

Isolasi cair dapat mengandung gas dalam bentuk gelembung. Berikut adalah penyebab gelembung terbentuk:

- Kantong gas pada permukaan elektroda yang tidak rata
- Perubahan suhu dan tekanan
- peruraian material oleh tabrakan elektron sehingga menimbulkan material gas
- Pengupuan cairan karena adanya korona dari titik elektroda yang tidak teratur.

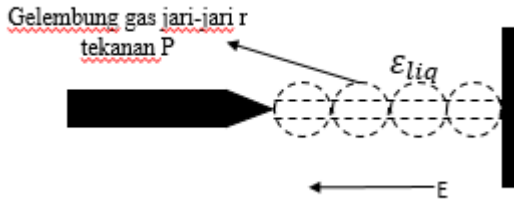
Medan listrik berbentuk gelembung udara yang berada pada media isolasi cair dapat diketahui melalui persamaan 2.6:

$$E_b = \frac{3E_0}{\epsilon_{liq} + 2} \quad (2.6)$$

Dimana:

- E_b = medan listrik pada gelembung udara (Vcm⁻¹)
- ϵ_{liq} = permitivitas isolasi cair
- E_0 = medan listrik pada media cair tanpa gelembung (Vcm⁻¹)

Nilai E_b yang telah sama dengan nilai medan batas dari ionisasi gas, akan terjadi pelepasan listrik dalam gelembung sehingga dapat mempercepat pembentukan gas dalam gelembung. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya dekomposisi media isolasi cair yang mengakibatkan terjadinya *breakdown*. Gambar 2.5 merupakan visualisasi gambar untuk pengaruh medan terhadap gelembung udara.



Gambar 2. 5 Kegagalan elektronik

Medan listrik antar kedua elektroda dapat mempengaruhi gelembung udara didalam isolasi cair. Gelembung akan memanjang searah medan karena gelembung udara berusaha membuat energi minimum. Gelembung udara yang memanjang akan bersatu hingga membentuk jembatan serat yang kemudian akan menyebabkan *breakdown*[9].

Volume gelembung yang berubah-ubah dan memanjang dapat dikatakan konstan. sehingga rumus kekuatan gagal medan udara dapat ditampilkan pada persamaan 2.7.

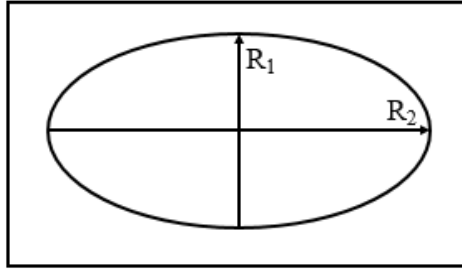
$$E_0 = \frac{1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \sqrt{\frac{2\pi\sigma(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{r} \left[\frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{v_b}{2rE_0}} - 1 \right]} \quad (2.7)$$

Dimana,

- σ = gaya tegangan (*tension*) permukaan media cair (Nm^{-1})
- ε_1 = permitivitas media cair
- ε_2 = permitivitas gelembung
- ε_2 = jari-jari awal gelembung(dianggap seperti bola) (cm)
- V_b = jatuh tegangan dalam gelembung (v)

2.4.3 Teori Kegagalan Bola Cair dalam Media Isolasi Cair

Kandungan dalam isolasi cair yang tidak sesuai dengan bahan (kontaminan) akan menyebabkan kegagalan (*breakdown*) akibat ketidakstabilan bola cair dalam medan listrik. medan listrik E akan berubah menjadi sferoida dengan medan didalamnya sebesar E_2 . Proses kegagalan ditampilkan pada gambar 2.5 dan perhitungan E_2 pada persamaan (2.8) [10]



Gambar 2. 6 Medan listrik bentuk sferoida

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1 E}{\varepsilon_1 - (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) G} \quad (2.8)$$

Dimana,

$$G = \frac{1}{\gamma^2 - 1} \left\{ \frac{\gamma \cos^{-1} \gamma}{(\gamma^2 - 1)} - 1 \right\} \text{ dan } \gamma = \frac{R_2}{R_1}$$

R_2 = jari-jari panjang sferoida (cm)

R_1 = jari-jari pendek sferoida (cm)

ε_1 = permitivitas media isolasi cair

ε_2 = permitivitas bola cair

2.5 Klasifikasi Frekuensi

Gelombang radio merupakan gelombang elektromagnetik yang dapat merambat dengan kecepatan 300.000 km/detik. Gelombang ini memiliki frekuensi terkecil dengan panjang gelombang terpanjang dibanding gelombang elektromagnetik yang lain. Berdasarkan Tabel 2.1, frekuensi gelombang dibagi menjadi 3 bagian yaitu frekuensi rendah (gelombang panjang), frekuensi menengah (gelombang medium), dan frekuensi tinggi (gelombang pendek).

Gelombang dengan frekuensi rendah memiliki kelebihan yaitu dapat merambat pada jarak yang sangat jauh tetapi membutuhkan daya yang sangat besar untuk mencapai jarak terjauhnya dibanding frekuensi yang lain sehingga tidak menguntungkan secara ekonomis. Gelombang frekuensi ini umumnya digunakan untuk navigasi, komunikasi bawah laut dan lain – lainnya.

Gelombang dengan frekuensi menengah merupakan gelombang yang sering digunakan pada stasiun penyiaran radio. Gelombang ini

memiliki kelebihan yaitu tidak rentan terhadap *noise* karena gelombang ini merambat dengan menggunakan media bumi dimana permukaan bumi tidak dipengaruhi oleh cuaca tetapi membutuhkan booster untuk pemakaian jarak jauh karena permukaan bumi lebih cepat menyerap gelombang daripada udara. Frekuensi tipe ini umumnya dimanfaatkan untuk jaringan radio AM.

Gelombang dengan frekuensi tinggi dapat menjangkau wilayah yang luas dengan efisiensi penggunaan energi yang tinggi tetapi memiliki kualitas yang lebih buruk (*noise*) dibandingkan gelombang yang lain. Gelombang frekuensi ini digunakan untuk sinyal televisi, radar, satelit dan lain-lain[11].

Tabel 2. 1 Spektrum Frekuensi Radio

No	Jenis Band	Frekuensi	Panjang Gelombang
1	<i>Extremely Low Frequency</i>	3-30 Hz	100,000-10,000 km
2	<i>SuperLow Frequency</i>	30-300 Hz	10,000-1000 km
3	<i>Ultra Low Frequency</i>	300-3000 Hz	1000-100 km
4	<i>Very Low Frequency</i>	3-30 kHz	100-10 km
5	<i>Low Frequency</i>	30-300 kHz	10-1 km
6	<i>Medium Frequency</i>	300-3000 kHz	1000-100 m
7	<i>High Frequency</i>	3-30 MHz	100-10 m
8	<i>Very High Frequency</i>	30-300 MHz	10-1 m
9	<i>Ultra High Frequency</i>	300-3000 MHz	1000-100 mm
10	<i>SuperHigh Frequency</i>	3-30 GHz	100-10 mm
11	<i>Extremely High Frequency</i>	30-300 GHz	10-1 mm

Tabel 2. 2 Fungsi gelombang frekuensi

No	Jenis Band	Fungsi
1	<i>Extremely Low Frequency</i>	Komunikasi bawah laut
2	<i>Super Low Frequency</i>	Komunikasi bawah laut
3	<i>Ultra Low Frequency</i>	Komunikasi bawah laut dan pertambangan
4	<i>Very Low Frequency</i>	navigasi, pengecekan hati dan jantung
5	<i>Low Frequency</i>	navigasi, radio AM dan RFID
6	<i>Medium Frequency</i>	Radio AM
7	<i>High Frequency</i>	RFID dan radar
8	<i>Very High Frequency</i>	Radio FM, Televisi dan radio cuaca
9	<i>Ultra High Frequency</i>	Televisi, <i>handphone</i> , <i>wireless LAN</i> , <i>Bluetooth</i> , <i>GPS</i>
10	<i>Super High Frequency</i>	<i>Radar</i> , <i>Satellite</i> , <i>DBS</i>
11	<i>Extremely High Frequency</i>	<i>High Frequency Microwave</i> , <i>Radio Relay</i> , <i>Microwave Remote Sensing</i>

2.6 *Radio Frequency Gain (RF Gain)*

Frekuensi radio merupakan sinyal dengan frekuensi tinggi yang berubah – ubah dan dialirkan melalui konduktor tembaga serta diradiasikan ke media udara dengan perangkat berupa antenna. Antenna berfungsi untuk mentransformasikan sinyal kabel menuju sinyal wireless ataupun sebaliknya. Sinyal AC berfrekuensi tinggi yang diradiasikan ke udara akan membentuk gelombang radio. Radio frekuensi memiliki sifat yang tidak konsisten sehingga akan berubah – ubah setiap waktu.

RF (*radio frequency*) *Gain* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sinyal amplitudo frekuensi radio untuk mendeskripsikan peningkatan sinyal. *Gain* biasanya adalah proses yang aktif seperti RF amplifier yang digunakan untuk menguatkan sinyal. Gain dapat menjadi proses pasif jika terjadi refleksi sinyal RF yang berkombinasi dengan sinyal lainnya.

Peningkatan *gain* dapat berpengaruh terhadap sinyal terimaan karena membatasi sinyal yang dapat diterima. RF *gain* memiliki satuan berupa dB. Nilai *gain* berbanding lurus dengan diameter, panjang gelombang dan efisiensi antenna[12].

$$G = \eta \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.9)$$

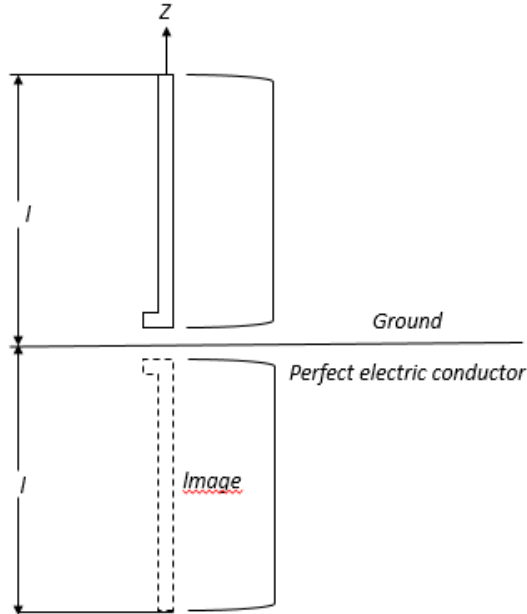
Dimana,

- d = diameter antenna (m)
- λ = panjang gelombang (m)
- η = efisiensi antenna

2.7 Antena *Monopole*

Antena *Monopole* merupakan salah satu antena yang paling banyak digunakan dalam sistem komunikasi seluler karena memiliki *broadband* dan konstruksi yang sederhana sehingga memungkinkan untuk digunakan dalam peralatan *portable* seperti ponsel, telepon tanpa kabel, mobil, kereta api, dan lain - lain. Karakteristik *gain* dan tingkat efisiensi radiasinya dipengaruhi oleh panjang *electrical* dari antenna yang berhubungan dengan operasi frekuensinya. Posisi elemen *monopole* pada peralatan *portable* seperti telepon genggam mempengaruhi pola meskipun tidak memberi pengaruh besar kepada impedansi input dan frekuensi resonansi. Dalam aplikasinya, *monopole* dengan $\frac{1}{4}$ panjang gelombang sangat banyak digunakan.

Antenna *monopole* memancarkan sinyalnya menjadi setengah sehingga pola bidangnya menjadi setengah bagian. Hal ini disebabkan oleh 2 hal. Untuk bidang tanah terbatas yang terbuat dari konduktor, difraksi di tepi menghasilkan sejumlah radiasi *spill over* menjadi $Z < 0$ dengan nilai maksimumnya terjadi pada sudut atas horizon. Untuk bidang yang luas tetapi dalam ruang hampa, radiasi yang ada pada horizon akan berkurang karena adanya ohmik di bumi dengan nilai maksimumnya terjadi pada sudut atas horizon. Hal tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 *Vertical monopole diatas ground*

2.8 Satuan Ukur Telekomunikasi

Satuan ukur yang umum digunakan pada bidang telekomunikasi adalah dB, akan tetapi beberapa satuan lainnya terkadang digunakan untuk menganalisa masalah tertentu. Satuan tersebut dapat berupa dBw, dBv, dBm, dan lain lainnya. Setiap satuan memiliki fungsi perhitungan masing masing.

2.8.1 Satuan Daya (dBw dan dBm)

dBW merupakan suatu besaran keluaran sinyal yang dihasilkan oleh perangkat tertentu sehingga dinyatakan dalam bentuk dBw atau watt. dBW adalah satuan level daya dengan referensi 1 watt (terdiri atas 1 ampere arus dan 1 volt tegangan). Perhitungan dBW ditampilkan pada persamaan (2.9).

$$P(dBw) = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{W} \right) \quad (2.9)$$

dBm memiliki definisi yang hamper sama dengan dBW hanya saja satuan pada dBm adalah miliwatt. Perbandingan nilai dBw dan dBm adalah 1: 1000. Perhitungan dBm dituliskan pada persamaan (2.10).

$$P(dBw) = 10 \log 10 \left(\frac{P}{mW} \right) \quad (2.10)$$

Sehingga dapat disimpulkan

$$P(dBm) = dBw + 30 \quad (2.11)$$

2.8.2 Satuan Tegangan (dBV)

Desibell (dB) dapat digunakan untuk menyatakan level tegangan terhadap tegangan referensi 1 V. Satuan yang digunakan adalah dBv dan dBμV. Formula untuk konversi 1 V menjadi dBv ditampilkan pada persamaan 2.12. Nilai dBv dapat dikonversi menjadi dBw dengan persamaan 2.13.

$$V(dBv) = 20 \log 10 \left(\frac{V}{1V} \right) \quad (2.12)$$

$$P(dBw) = 10 \log 10^{(20 \cdot dBv)} \quad (2.13)$$

2.8.3 Satuan Digital (dBfs)

dBfs adalah skala dB untuk sinyal digital dengan nilai tertinggi adalah 0. Nilai diatas 0 akan diklasifikasikan menjadi distorsi digital. dBfs digunakan untuk PCM (*Pulse Code Modulation*). -15dBfs setara dengan 4 dBv.

BAB III

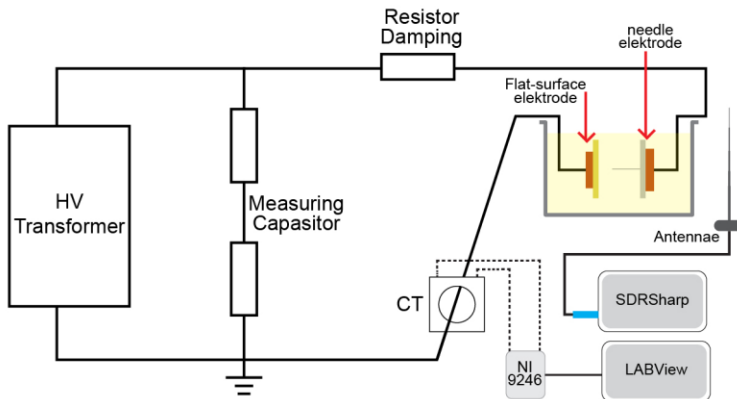
ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA

Bab ini akan menjelaskan tentang alat pengujian, metode serta pengaturan program yang digunakan untuk mengambil data deteksi *partial discharge* pada isolasi cair.

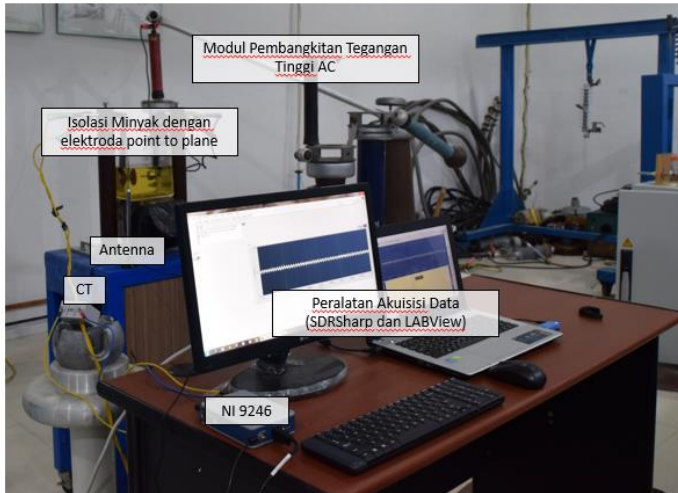
3.1 Alat Pengujian

Peralatan pengujian untuk pengambilan data deteksi *partial discharge* pada isolasi minyak terdiri atas perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Kedua perangkat tersebut akan dijalankan secara bersamaan. Perangkat keras berfungsi untuk mendapatkan hasil pengujian sedangkan perangkat lunak digunakan untuk mengolah data hasil pengujian.

Perangkat keras yang digunakan untuk mengambil data isolasi cair adalah pembangkitan tegangan tinggi AC, Elektroda *point to plane*, minyak transformator, Modul RTL-SDR (*Register Transfer Level - Software Defined Radio*) yang tersambung dengan antenna monopole, dan *Current transformer* (CT) yang tersambung dengan National Instrument (NI) 9246 (Arus), serta peralatan olah data berupa komputer dan laptop. Peralatan tersebut disusun sesuai skema yang terdapat pada gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3. 1 Skema perencanaan alat pengujian

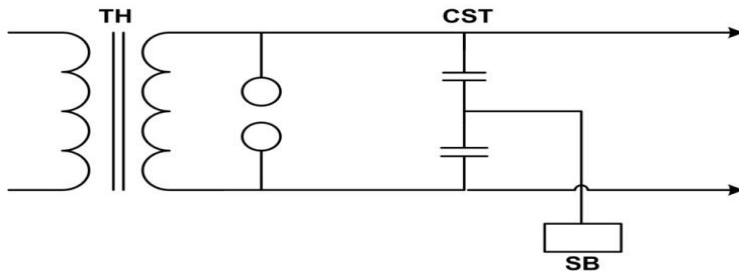


Gambar 3. 2 Alat pengujian yang digunakan

Perangkat lunak (*Software*) yang digunakan untuk mengambil data berupa SDRSharp, Labview (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) dan diadem. SDRSharp berfungsi untuk mengambil gambar dan nilai sinyal dari medan yang dihasilkan saat pengujian. Labview dan diadem digunakan untuk mengambil nilai arus serta menampilkan nilai tersebut dalam bentuk sinyal.

3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Pembangkitan yang digunakan untuk pengambilan data berupa pembangkitan tegangan tinggi AC yang berada pada laboratorium tegangan tinggi ITS bermerk Hafley. Pembangkitan tegangan tinggi AC terdiri atas 4 komponen utama yaitu *High Voltage Transformer* (TH) 80kV, *Capacitive Voltage Transformator* (CVT) dan *Control Box* (SB) dan *grounding*. *High voltage transformator* berfungsi sebagai *trafo step up*. *Capacitive Voltage Transformator* merupakan transformator yang terdiri atas 2 kapasitor yang berfungsi untuk menurunkan snyal tegangan ekstra tinggi menjadi sinyal tegangan rendah sehingga dapat dibaca oleh *control box*. Selain itu, *Control box* berfungsi untuk mengatur nilai tegangan masukan yang diinginkan.. Komponen tersebut disusun sesuai pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC

Tabel 3. 1 Spesifikasi peralatan pembangkitan tegangan tinggi AC

<i>High Voltage Transformer</i>	80 kV rms, 5 kVA
<i>Capacitor Divider</i>	80 kV rms, 400 kV Impulse, 500 pF
<i>Measuring Resistor with Test Jack</i>	200 kV DC, 800 M Ω

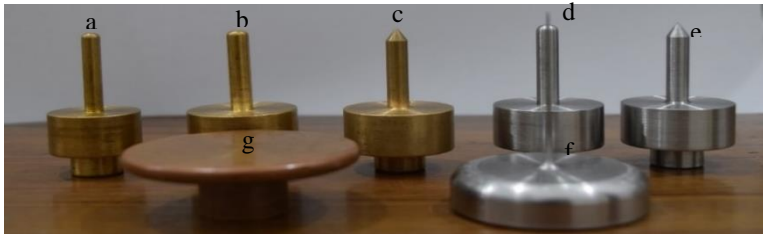
High Voltage Transformator memiliki perbandingan tegangan sebesar 220V/80kV. Nilai tersebut memiliki maksud apabila tegangan masukan 220V maka keluaran dari transformator adalah 80kV. Nilai tersebut diatur pada *control box* melalui *Capacitive Voltage Transformator* (CVT) [13]. *Control box* akan mengatur tegangan masukan mulai dari 0 hingga menuju nilai tertentu.

3.1.2 Elektroda Uji

Tipe elektroda uji yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah model *point to plane*. Model *point to plane* terdiri atas elektroda jarum (bagian positif) dan elektroda datar (bagian negatif). Elektroda jarum yang digunakan sebanyak 6 tipe. Tipe tersebut dibedakan berdasarkan bahan dan diameter dari elektroda tajam. Jarak antara elektroda jarum dan datar untuk pengujian ini adalah 1cm, 1,5cm dan 2cm untuk setiap tipe. Spesifikasi dari elektroda terdapat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Spesifikasi bahan dan diameter elektroda jarum

Bahan	Diameter
Tembaga	2 mm
Tembaga	5 mm
Tembaga	6 mm
<i>stainless steel</i>	1 mm
<i>stainless steel</i>	2 mm
<i>stainless steel</i>	6 mm



Gambar 3. 4 Elektroda *point to plane* yang digunakan (a) Tembaga 5mm (b) Tembaga 6 mm (c) Tembaga 2 mm (d) *stainless steel* 6 mm (e) *stainless steel* 2 mm (f) *stainless steel* 1 mm (g) elektroda datar

3.1.3 Minyak Isolasi

Minyak isolasi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah tipe mineral *shell Diala S2 ZU-I Dried*. Minyak ini menawarkan kemampuan bahan dielektrik dan stabilitas oksidasi yang baik serta memiliki transfer panas yang efisien.. Minyak yang digunakan sebanyak 1 liter dengan ukuran penampang akrilik 14x14x15cm. Datasheet dari minyak *shell Diala S2 ZU-I Dried* dapat dilihat pada tabel 3.3 dan dokumentasi minyak pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Minyak *shell Diala S2 ZU-I Dried*

Tabel 3. 3 Datasheet *shell Diala S2 ZU-I Dried*

Property	Units	Method	IEC 60296 Requirement	Shell Diala S2 ZU-I Gasoil Dried	Shell Diala S2 ZU-I Non-gasoil Dried
Appearance			Clear, free from sediment and suspended matters	Complies	
Density at 15°C	kg/m ³	ISO 3675		878	882
Kinematic viscosity at 40°C	mm ² /s	ISO 3104	Guaranteed max. 11.2	9.4	11
Kinematic viscosity at -30°C	mm ² /s	ISO 3104	Max. 1.800	940	1700
Breakdown voltage As delivered After treatment	kV	IEC 60156	Min. 30 Min. 70	>60 >70	>60 >70
Corrosive Sulphur		IEC 62535	Not corrosive	Not corrosive	
Dielectric Dissipation Factor (DDF) at 90°C		IEC 60247	Max. 0,005	Max. 0,005	0,002

3.1.4 Peralatan Akuisisi Data

Peralatan untuk akuisisi/ pengambilan data adalah *Current Transformer* (CT), *National Instrument* (NI) 9246 (Arus), modul RTL. CT dan NI akan digunakan untuk pengambilan data arus sedangkan modul RTL-SDR akan digunakan untuk pengambilan data sinyal dan intensitas suara (dB) yang dihasilkan saat terjadi *partial discharge*.

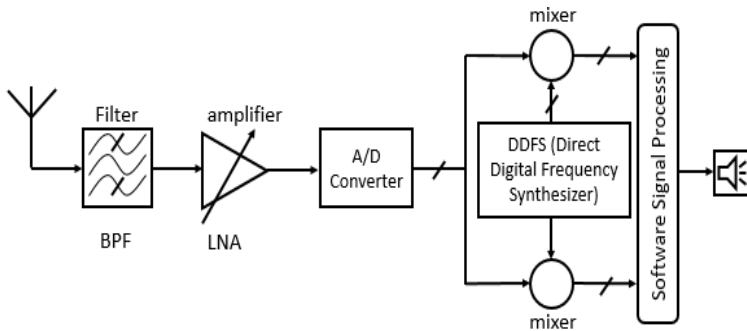
Current Transformer (CT) atau trafo arus digunakan untuk mengukur arus pada tegangan tinggi dengan menggunakan konsep *scaling*. Data yang diambil oleh CT berupa sinyal analog dan akan dikonversi oleh NI 9246 menjadi sinyal digital agar dapat disimpan serta diolah pada komputer. Spesifikasi CT ditampilkan pada tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Spesifikasi *Current Transformer* (CT)

Jenis CT	Powell MSQ-30S
Rasio CT	50/5 A
Class CT	1
Burden CT	5
Range Frekuensi	50-60 Hz

National Instrument 9246 digunakan untuk akuisisi data arus yang telah di ambil oleh CT. NI 9246 disambungkan dengan CT 50/5 A sehingga cocok dengan spesifikasi CT yang digunakan untuk pengujian. NI tersebut memiliki 3 analog input analog dengan 50ks/s *sample rate*. Arus maksimum yang dapat diukur oleh NI adalah $\pm 30A_{peak}$. Data yang telah dikonversi oleh NI akan disimpan dan diolah oleh *software* LabVIEW dan Diadem.

Modul RTL-SDR (*Register Transfer Level – Software Defined Radio*) digunakan untuk pengambilan sinyal dari medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh *partial discharge* [5]. Modul RTL-SDR yang digunakan adalah tipe USB *tuner* R820T dan *antenna monopole*. Modul RTL-SDR bekerja dengan menerima sinyal analog dan mengkonversi sinyal tersebut menjadi sinyal digital dengan menggunakan ADC (*Analogue Digital Converter*). Spesifikasi Modul RTL-SDR ditampilkan pada tabel 3.5. Skema kerja Modul RTL-SDR ditampilkan pada gambar 3.6 [14].



Gambar 3. 6 Skema kerja modul RTL-SDR

Tabel 3. 5 Spesifikasi Modul RTL-SDR

Modul RTL-SDR	USB Tuner R820T
Jenis Antenna	<i>Monopole</i> (tinggi 25 cm)
Range Frequency	24-1766 MHz
Maksimum <i>bandwidth</i>	3.2MHz
Impedansi masukan	70 Ohm
ADC	8-Bit
Low Noise Amplifier	4.5 dB

3.2 Pengambilan Data

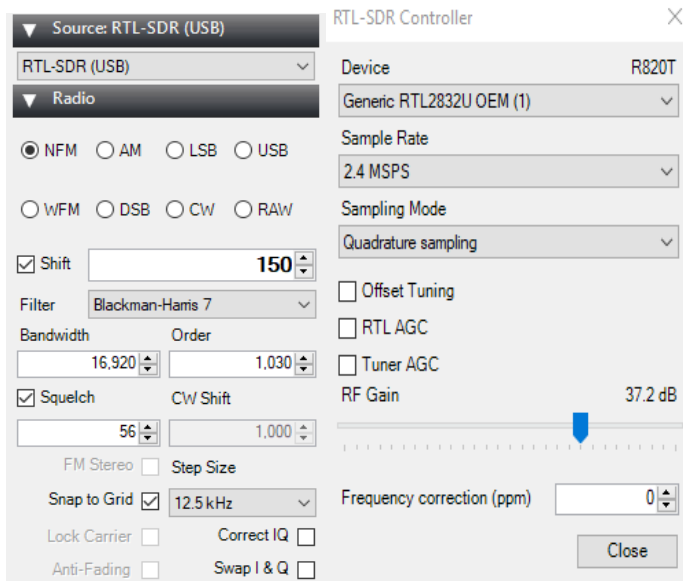
Pengambilan data dilakukan dengan skala laboratorium dengan menggunakan beberapa perangkat keras dan lunak. Data diambil saat dilakukan pengujian tegangan tembus AC (*Breakdown Voltage*) pada isolasi minyak. Data yang diambil berupa sinyal PD dengan menggunakan modul RTL-SDR dan antenna. Selain itu data yang diambil adalah nilai arus dengan memanfaatkan CT dan NI 9246. Data yang diambil mulai dari kondisi normal, *Pre-Breakdown* hingga *breakdown*. Tegangan yang didapatkan saat mulainya *prebreakdown* dan ketika *breakdown* akan direkap sehingga dapat dianalisa bersamaan dengan sinyal pada SDRSharp dan LabVIEW.

3.2.1 SDRSharp

Akuisisi / pengambilan data sinyal dilakukan dengan menggunakan *software* SDRSharp. SDRSharp merupakan suatu *software*

yang digunakan untuk mengetahui frekuensi radio, *spectrum* dan *waterfall* dari suatu sinyal.

Software SDRSharp akan diatur pada bagian demodulator, *filter bandwidth*, Frekuensi masukan, Sample rate dan RF gain. Demodulator yang digunakan adalah tipe NFM(*Narrow Frequency Modulation*). *Filter* yang dipilih adalah Blackman-Harris 7 dan secara otomatis *bandwidth* terisi sebesar 16.920 serta *order* sebesar 1030. Frekuensi yang akan dianalisa terdapat pada 630 MHz. Hal tersebut didasarkan atas jurnal mohammed yang menjelaskan beberapa titik *partial discharge* terjelas pada *band ultra high frequency*. Terdapat 5 range frequency yang menampilkan hasil UHF yang signifikan. *Sample rate* yang digunakan adalah 2.4 MSPS yang merupakan rekomendasi dari *website* RTL-SDR. RF Gain (*Radio Frequency gain*) yang digunakan adalah 37.2 dB karena frekuensi tersebut sudah tidak terganggu *noise*. *Snap grid* diaktifkan dengan *step size* 12.5 kHz. *Device* untuk konfigurasi yang digunakan adalah model generic RTL2832U OEM(1) Seluruh pengaturan sesuai dengan gambar 3.7



Gambar 3. 7 Pengaturan software SDRSharp

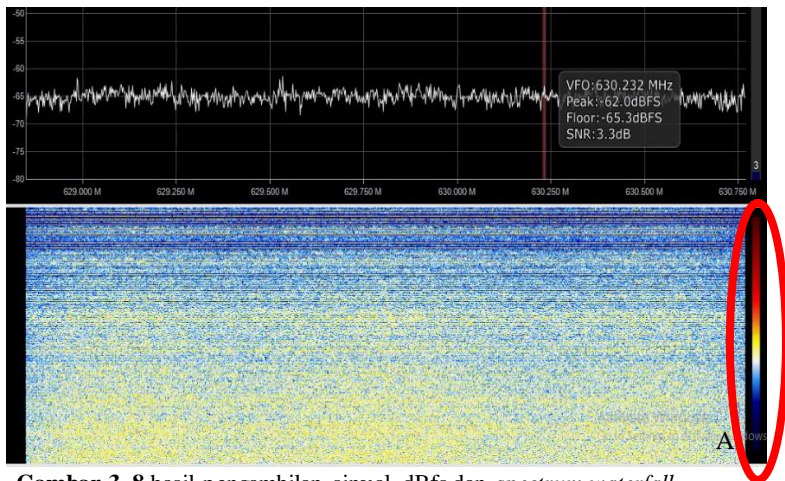
Nilai sinyal yang didapatkan dengan *software* SDRSharp memiliki satuan dBfs (dB *full scale*). Nilai tersebut akan di konversi hingga memiliki satuan dBm. Hal tersebut dilakukan untuk memverifikasi sinyal yang diterima dengan referensi jurnal tertentu. Perhitungan dilakukan dengan persamaan (3.1 – 3.3):

$$-15 \text{ dBfs} = 4 \text{ dBv} \quad (3.1)$$

$$(dBw) = 10 \log 10^{(20 \cdot dBv)} \quad (3.2)$$

$$P(dBm) = dBw + 30 \quad (3.3)$$

Proses pengambilan data adalah dengan merekam sinyal dan *spectrum waterfall* pada SDRSharp. Perekaman dimulai saat kondisi normal, *prebreakdown* hingga *breakdown*. Sinyal akan menampilkan perbedaan nilai dBfs (dB *full scale*) pada titik frekuensi tertentu saat 3 kondisi tersebut. *Spectrum waterfall* juga akan berubah warna seiring terdeteksinya medan yang dihasilkan oleh *partial discharge*. Semakin kuat sinyal yang dihasilkan oleh partial discharge di isolasi cair maka warna *spectrum waterfall* akan semakin membiru. Perubahan warna sesuai dengan standart pada area A dari gambar 3.8. Gambar 3.8 merupakan hasil pengambilan data sinyal, dBfs, dan *spectrum waterfall*.



Gambar 3. 8 hasil pengambilan sinyal, dBfs dan *spectrum waterfall*

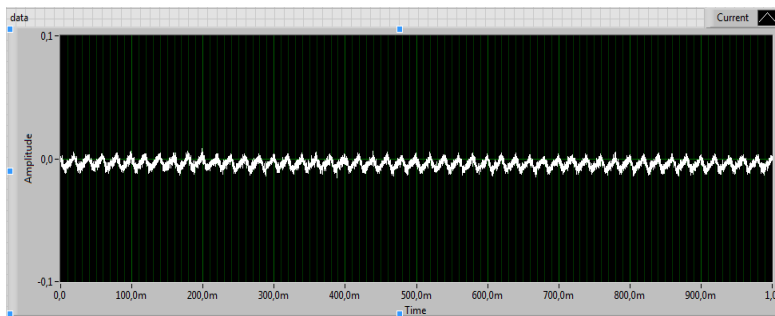
3.2.2 LabVIEW dan Diadem

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai *interface* dari National Instrument (NI) 9246 untuk arus. LabVIEW dikenal dengan sebutan *virtual instrument*. LabVIEW menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis dan blok diagram.

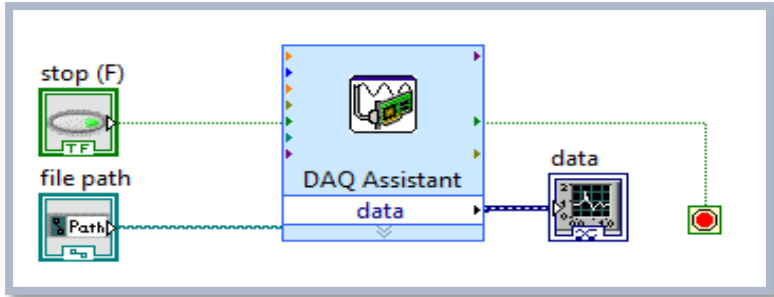
LabVIEW yang digunakan untuk mengolah keluaran dari NI adalah versi 2015. Pemrogramman yang digunakan untuk mengambil data adalah blok diagram yang terdiri atas DAQ Assistant, *waveform graph* dan stop. Data yang terekam oleh LabVIEW akan berformat .tdms yang nantinya dapat diolah dengan menggunakan *software* diadem. DAQ Assistant digunakan untuk mengatur keluaran sinyal yang diinginkan. *Wavefront graph* digunakan untuk menampilkan sinyal yang terekam oleh LabVIEW.

DAQ Assistant memiliki beberapa pengaturan yang dilakukan. Pengaturan tersebut berupa *acquisition mode*, *sample to read*, *rate(kHz)*, *custom scaling*, dan *logging*. Acquisition mode yang digunakan adalah *continuous samples* dengan *sample to read* 10k dan Rate(Hz) 10k. *Custom scaling* disesuaikan dengan CT yang memiliki *scaling* 50/5. *Logging* diatur untuk menyimpan file pada lokasi yang diharapkan.

Data yang diambil mulai dari kondisi normal hingga *breakdown*. Pengambilan data arus dilakukan bersamaan dengan pengambilan data sinyal pada SDRSharp agar hasil yang disimpan dapat di bandingkan. Analisa dilakukan saat mulai *prebreakdown* hingga normal kembali. Data yang dihasilkan oleh LabVIEW ditampilkan pada gambar 3.8.



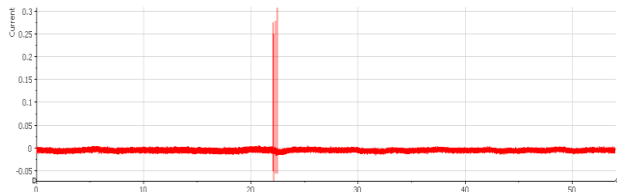
(a)



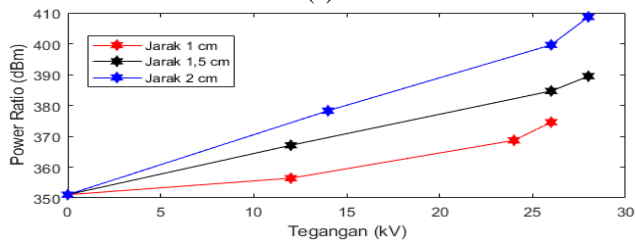
(b)

Gambar 3. 9 Tampilan sinyal (b) blok diagram pada labview

LabVIEW menghasilkan data dalam bentuk tdms. yang nantinya dapat dioleh dengan perangkat lunak DIAdem. DIAdem digunakan untuk mengolah nilai arus dan gelombang yang telah disimpan oleh LabVIEW. Pengolahan yang dilakukan berupa pemotongan sinyal dan pemindahan nilai menuju Matlab. Tampilan sinyal serta nilai pada diadem dan excel ditampilkan pada gambar 3.9.



(a)



(b)

Gambar 3. 10 (a)Tampilan sinyal pada DIAdem (b) tampilan sinyal pada matlab

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI CAIR DENGAN METODE UHF

4.1 Proses Terjadinya Fenomena *Partial Discharge* pada Isolasi Minyak

Proses pengambilan data dimulai dari kondisi normal, *Pre-Breakdown* hingga *breakdown*. Data normal dan *breakdown* digunakan sebagai validasi dan komparasi nilai agar dapat diidentifikasi kondisi *saat pre breakdown*. Proses pengambilan data menggunakan modul RTL dan NI 9246 dengan waktu yang sama. Modul yang digunakan adalah pembangkitan tegangan tinggi AC berelektroda *point to plane*. Isolasi minyak shell dila B diletakkan pada akrilik serta elektroda di ceburkan dalam minyak tersebut. Peningkatan tegangan di atur pada *control box* maka akan terjadi peningkatan tegangan. *Pre-Breakdown* diketahui dengan adanya bunyi desis dalam isolasi minyak. Tegangan saat bunyi digunakan sebagai penanda *inception voltage* untuk kondisi *Pre-Breakdown* dan dibandingkan dengan sinyal yang dihasilkan oleh NI dan SDRSharp.

Proses *Pre-Breakdown* akan menghasilkan korona secara bertahap. Tahap pertama memunculkan cahaya, suara, dan jembatan serat. Tegangan yang semakin ditingkatkan akan memperjelas karakteristik berikut. Peningkatan tegangan yang lebih tinggi dapat menimbulkan *spark* pada kedua elektroda dan menyambungkan kedua konduktor tersebut[15].

4.2 Faktor yang Mempengaruhi *Partial Discharge* dengan Metode UHF (*Ultra High Frequency*) pada 2 Bahan Elektroda

Partial Discharge (peluahan sebagian) dipengaruhi oleh beberapa faktor berupa *gap spacing* (jarak) antar elektroda dan luas penampang elektroda. Jarak dan luas penampang elektroda yang semakin besar dapat meningkatkan nilai tegangan tembus dari suatu isolasi minyak. Jarak dan bahan yang berbeda akan menghasilkan nilai medan yang tidak sama. Metode UHF akan mengidentifikasi hasil keluaran sinyal pada variabel jarak dan diameter yang berbeda. Berdasarkan referensi jurnal diketahui bahwa diameter dan jarak akan mempengaruhi titik inception dan breakdown voltage serta medan yang dihasilkan saat adanya PD[16].

Bahan elektroda akan mempengaruhi nilai *inception voltage*, *breakdown voltage* dan kuat sinyal yang diterima. Pengaruh tersebut berdasarkan *work function*. *Work function* dari tembaga adalah 4.5 dan *stainless steel* adalah 4.4 eV[17] [18].

Metode UHF (*Ultra High Frequency*) perlu mempertimbangkan beberapa kondisi untuk menghasilkan data yang diharapkan. *Noise* yang tersebar akan dikurangkan dengan menggunakan RF *Gain (amplifier)*. *Amplifier* yang digunakan adalah 37.2 yang mampu menghilangkan *noise*. Frekuensi yang digunakan adalah *range* 600MHz (UHF) untuk menghindari frekuensi radio. Nilai daya yang dideteksi akan lebih rendah dibandingkan frekuensi tinggi / frekuensi dibawah 300MHz. akan tetapi *filter* yang dihasilkan dengan frekuensi tinggi akan lebih baik[19].

4.2.1 Pengaruh Jarak dan Diameter elektroda terhadap Deteksi *Partial Discharge* Bahan *Stainless Steel*

Stainless steel merupakan salah satu bahan elektroda uji yang umum digunakan. Pengujian pada bahan *stainless steel* menggunakan elektroda berdiameter 1,2 dan 6 mm. jarak yang dipilih untuk pengujian adalah 1, 1.5 dan 2 cm. Data yang didapatkan melalui pengujian berupa sinyal dBfs yang dikonversi menjadi kuat sinyal (dBm). Konversi dilakukan dengan menggunakan perhitungan satuan telekomunikasi pada persamaan 3.1 hingga 3.3. Kuat sinyal akan menampilkan pengaruh perubahan jarak dan diameter elektroda.

Eksperimen yang dilakukan menghasilkan nilai peningkatan dBm ketika disuplai tegangan tinggi. Peningkatan tersebut sesuai dengan teori deteksi *Partial Discharge* dengan model *low cost* RTL-SDR[5]. Nilai dBm yang dihasilkan adalah positif karena pengaturan sensitifitas antenna cukup tinggi.

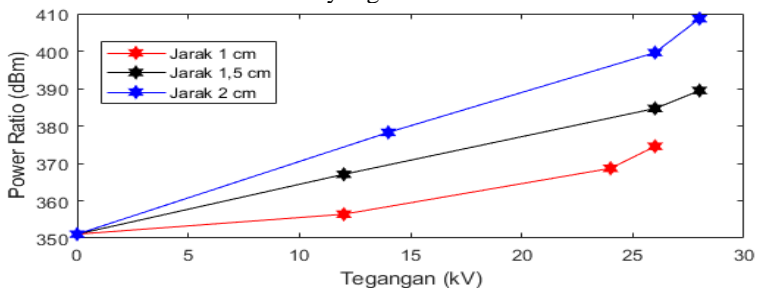
Kuat sinyal (dBm) akan meningkat seiring penambahan tegangan dari kondisi normal hingga *breakdown*. Kuat sinyal (dBm) meningkat dari kondisi tegangan nol disebabkan oleh jarak antena dengan elektroda pengujian yang dekat.

Inception voltage dipengaruhi oleh variabel jarak dan diameter dari elektroda. Jarak 1 dan 1.5 cm dari ketiga diameter elektroda umumnya memiliki nilai *inception voltage* yang sama. Jarak 2 cm barulah menghasilkan *inception voltage* dengan perbedaan yang cukup signifikan. Diameter mempengaruhi perbedaan tegangan tembus (*breakdown*) tetapi hampir tidak mempengaruhi *inception voltage*.

4.2.1.1 Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 1 mm Bahan Stainless Steel

Kuat sinyal pengujian pada elektroda *point to plane* bahan *stainless steel* berdiameter 1 mm mengalami peningkatan seiring dengan penambahan suplai tegangan. Nilai yang diperoleh melalui pengujian adalah sinyal digital (dBfs). Nilai sinyal digital dikonversi menjadi kuat sinyal. Tabel 4.1 menampilkan data sinyal digital yang diperoleh. Nilai kuat sinyal awal ketika kondisi normal adalah 351.07 dBm. Kuat sinyal yang dihasilkan dari 3 kondisi jarak berbeda-beda. Kuat sinyal akan meningkat seiring dengan penambahan jarak antar kedua elektroda. Nilai kuat sinyal mengalami peningkatan yang relatif linear terhadap suplai tegangan.

Inception dan *breakdown voltage* dipengaruhi oleh jarak antar elektroda. *Inception voltage* yang dihasilkan oleh pengujian relatif sama. Hal tersebut terjadi karena kondisi minyak pengujian yang telah memiliki kontaminan. *Inception voltage* jarak 1 cm dan 1.5 cm yaitu 12 kV sedangkan jarak 2 cm adalah 14 kV. Nilai *inception voltage* diketahui melalui korona berupa bunyi desis. *Breakdown voltage* jarak 1 cm berbeda sebesar 2 kV dengan jarak 1.5 cm dan 2 cm. *Breakdown voltage* ditandai dengan adanya *spark* diantara kedua elektroda. 2 kV sebelum *breakdown* diberikan tanda sebagai pembandingan dengan metode *leakage current* nantinya. Gambar 4.1 menampilkan grafik tegangan terhadap kuat sinyal (*power ratio*) pada 3 kondisi jarak dengan menampilkan titik normal, *inception voltage*, 1 detik sebelum *breakdown* dan *breakdown*. Tabel 4.2 menampilkan nilai titik pada gambar 4.1. Titik pada gambar 4.1 secara berurutan dari awal merupakan titik normal, *inception voltage*, 1 detik sebelum *breakdown* dan yang terakhir adalah titik *breakdown*.



Gambar 4. 1 Grafik kuat sinyal pengujian elektroda *point to plane* bahan *stainless steel* diameter 1 mm

Tabel 4. 1 Tabel sinyal digital elektroda bahan *stainless steel* berdiameter 1 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBfs
1	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	-61.2
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	24	-63.5
	<i>Breakdown</i>	26	-64.6
1.5	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	-63.2
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	26	-66.5
	<i>Breakdown</i>	28	-67.4
2	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	14	-65.3
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	26	-69.3
	<i>Breakdown</i>	28	-71

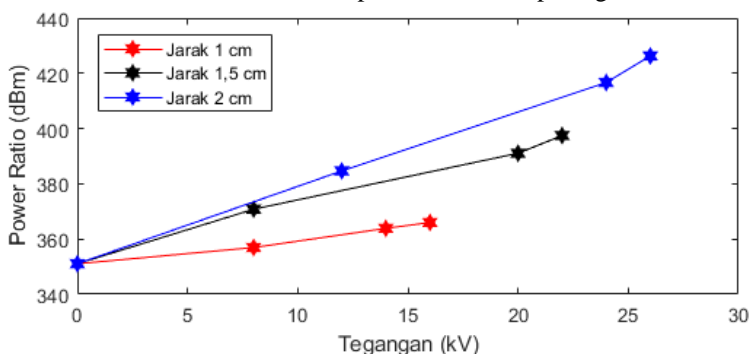
Tabel 4. 2 Tabel kuat sinyal elektroda bahan *stainless steel* berdiameter 1 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
1	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	356.40
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	24	368.67
	<i>Breakdown</i>	26	374.53
1.5	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	367.07
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	26	384.67
	<i>Breakdown</i>	28	389.47
2	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	14	378.27
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	26	399.60
	<i>Breakdown</i>	28	408.67

4.2.1.2 Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 2 mm Bahan Stainless Steel

Kuat sinyal pengujian pada elektroda *point to plane* bahan *stainless steel* berdiameter 2 mm mengalami peningkatan seiring dengan penambahan suplai tegangan. Nilai yang diperoleh melalui pengujian adalah sinyal digital (dBfs). Nilai sinyal digital dikonversi menjadi kuat sinyal. Tabel 4.3 menampilkan data sinyal digital yang diperoleh. Nilai kuat sinyal awal ketika kondisi normal adalah 351.07 dBm. Kuat sinyal yang dihasilkan dari 3 kondisi jarak berbeda-beda. Kuat sinyal akan meningkat seiring dengan penambahan jarak antar kedua elektroda. Nilai kuat sinyal mengalami peningkatan yang relatif linear terhadap suplai tegangan.

Inception dan *breakdown voltage* dipengaruhi oleh jarak antar elektroda. *Inception voltage* yang dihasilkan oleh pengujian relatif sama. Hal tersebut terjadi karena kondisi minyak pengujian yang telah memiliki kontaminan. *Inception voltage* jarak 1 cm dan 1.5 cm yaitu 8 kV sedangkan jarak 2 cm adalah 12kV. Nilai *inception voltage* diketahui melalui korona berupa bunyi desis. Breakdown voltage akan meningkat seiring penambahan jarak mulai dengan 16, 22, hingga 26kV. 2 kV sebelum *breakdown* diberikan tanda sebagai pembandingan dengan metode *leakage current* nantinya. Gambar 4.1 menampilkan grafik tegangan terhadap kuat sinyal (*power ratio*) pada 3 kondisi jarak tegangan menampilkan titik normal, *inception voltage*, 1 detik sebelum *breakdown* dan *breakdown*. Tabel 4.4 menampilkan nilai titik pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik kuat sinyal pengujian elektroda *point to plane* bahan *stainless steel* diameter 2 mm

Tabel 4. 3 Tabel sinyal elektroda bahan *stainless steel* berdiameter 2 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBfs
1	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	8	-61.3
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	14	-62.6
	<i>Breakdown</i>	16	-63
1.5	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	8	-63.9
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	20	-67.7
	<i>Breakdown</i>	22	-68.9
2	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	-66.5
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	24	-72.5
	<i>Breakdown</i>	26	-74.3

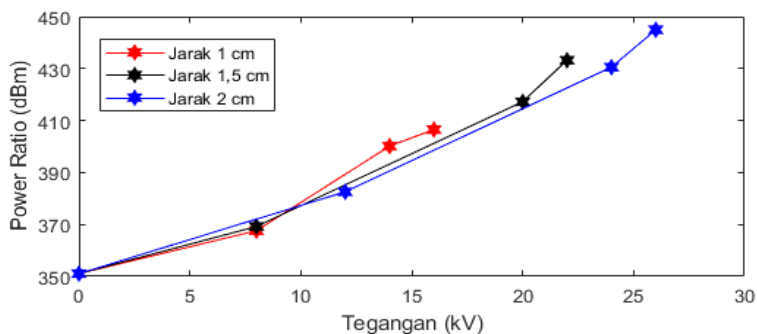
Tabel 4. 4 Tabel kuat sinyal elektroda bahan *stainless steel* berdiameter 2 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
1	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	8	356.93
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	14	363.87
	<i>Breakdown</i>	16	366.00
1.5	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	8	370.80
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	20	391.07
	<i>Breakdown</i>	22	397.47
2	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	384.67
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	24	416.67
	<i>Breakdown</i>	26	426.27

4.2.1.3 Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 6 mm Bahan Stainless Steel

Kuat sinyal pengujian pada elektroda *point to plane* bahan *stainless steel* berdiameter 6 mm mengalami peningkatan seiring dengan penambahan suplai tegangan. Nilai yang diperoleh melalui pengujian adalah sinyal digital (dBfs). Nilai sinyal digital dikonversi menjadi kuat sinyal. Tabel 4.5 menampilkan data sinyal digital yang diperoleh. Nilai kuat sinyal awal ketika kondisi normal adalah 351.07 dBm. Kuat sinyal yang dihasilkan dari 3 kondisi jarak berbeda-beda. Kuat sinyal akan meningkat seiring dengan penambahan jarak antar kedua elektroda. Nilai kuat sinyal mengalami peningkatan yang relatif linear terhadap suplai tegangan.

Inception dan *breakdown voltage* dipengaruhi oleh jarak antar elektroda. *Inception voltage* yang dihasilkan oleh pengujian relatif sama. Hal tersebut terjadi karena kondisi minyak pengujian yang telah memiliki kontaminan. *Inception voltage* jarak 1 cm dan 1.5 cm yaitu 8 kV sedangkan jarak 2 cm adalah 12kV. Nilai *inception voltage* diketahui melalui korona berupa bunyi desis. *Breakdown voltage* ketiga jarak mengalami perbedaan yang tidak konstan sama seperti elektroda berdiameter 2mm. 2 kV sebelum *breakdown* diberikan tanda sebagai pembandingan dengan metode *leakage current* nantinya. Gambar 4.1 menampilkan grafik tegangan terhadap kuat sinyal (*power ratio*) pada 3 kondisi jarak dengan menampilkan titik normal, *inception voltage*, 1 detik sebelum *breakdown* dan *breakdown*. Tabel 4.6 menampilkan nilai titik pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik kuat sinyal pengujian elektroda *point to plane* bahan *stainless steel* diameter 6 mm

Tabel 4. 5 Tabel sinyal digital elektroda bahan *stainless steel* berdiameter 6 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBfs
1	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	8	-63.3
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	14	-69.4
	<i>Breakdown</i>	16	-70.6
1.5	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	8	-63.6
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	20	-72.6
	<i>Breakdown</i>	22	-75.6
2	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	-66.1
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	24	-75.1
	<i>Breakdown</i>	26	-77.8

Tabel 4. 6 Tabel kuat sinyal elektroda bahan *stainless steel* berdiameter 6 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
1	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	8	367.60
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	14	400.13
	<i>Breakdown</i>	16	406.53
1.5	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	8	369.20
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	20	417.20
	<i>Breakdown</i>	22	433.20
2	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	382.53
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	24	430.53
	<i>Breakdown</i>	26	444.93

4.2.2 Pengaruh Jarak terhadap Deteksi *Partial Discharge* Bahan Tembaga

Tembaga adalah salah satu bahan penghantar listrik yang memiliki sifat konduktif lebih baik dibandingkan aluminium dan *stainless steel*. Pengujian dengan bahan tembaga menggunakan jarak yang sama dengan *stainless steel* yaitu 1, 1.5, dan 2 cm. Ukuran diameter elektroda jarum (*point*) yang digunakan adalah 2, 5, dan 6 mm. Hasil pengujian mendapatkan sinyal dalam satuan dBfs yang kemudian dikonversi menjadi dBm. Kuat sinyal akan menggambarkan grafik pengaruh perubahan jarak dan diameter elektroda.

Kuat sinyal (dBm) akan meningkat seiring penambahan tegangan dari kondisi normal hingga *breakdown*. Kuat sinyal (dBm) meningkat dari kondisi tegangan nol disebabkan oleh jarak antenna dengan elektroda pengujian yang dekat.

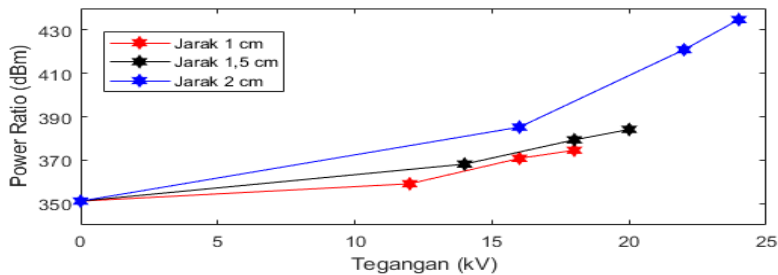
Inception voltage dipengaruhi oleh variabel jarak dan diameter dari elektroda. Jarak 1 dan 1.5 cm dari ketiga diameter elektroda umumnya memiliki nilai *inception voltage* yang sama. Jarak 2 barulah menghasilkan *inception voltage* dengan perbedaan yang cukup signifikan. Diameter mempengaruhi perbedaan tegangan tembus (*breakdown*) tetapi hampir tidak mempengaruhi *inception voltage*.

4.2.2.1 Analisis Kuat Sinyal Elektroda *Point to Plane* Diameter 2 mm Bahan Tembaga

Kuat sinyal pengujian pada elektroda *point to plane* bahan tembaga berdiameter 2 mm mengalami peningkatan yang linear seiring dengan penambahan suplai tegangan. Nilai yang diperoleh melalui pengujian adalah sinyal digital (dBfs). Nilai sinyal digital dikonversi menjadi kuat sinyal. Tabel 4.5 menampilkan data sinyal digital yang diperoleh. Nilai kuat sinyal kondisi normal adalah 351.07 dBm. Kuat sinyal yang dihasilkan dari 3 kondisi jarak berbeda-beda. Kuat sinyal akan meningkat seiring dengan penambahan jarak antar kedua elektroda.

Inception dan *breakdown voltage* dipengaruhi oleh jarak antar elektroda. *Inception voltage* yang dihasilkan oleh pengujian hampir sama. Hal tersebut terjadi karena kondisi minyak pengujian yang telah memiliki kontaminan. *Inception voltage* setiap kondisi jarak berbeda 2kV. Nilai *inception voltage* diketahui melalui korona berupa bunyi desis. *Breakdown voltage* jarak 1 cm sebesar 18kV, jarak 1.5 cm sebesar 20kV

dan 2cm sebesar 24kV. *Breakdown voltage* ditandai dengan adanya *spark* diantara kedua elektroda. 2 kV sebelum *breakdown* diberikan tanda sebagai pembanding dengan metode *leakage current* nantinya. Gambar 4.4 menampilkan grafik tegangan terhadap kuat sinyal (*power ratio*) pada 3 kondisi jarak dengan menampilkan titik normal, *inception voltage*, 1 detik sebelum *breakdown* dan ketika *breakdown*. Tabel 4.8 menampilkan nilai titik pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik kuat sinyal pengujian elektroda *point to plane* bahan tembaga diameter 2 mm

Tabel 4. 7 Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 2 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBfs
1	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	-61.7
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	16	-63.9
	<i>Breakdown</i>	18	-64.6
1.5	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	14	-63.4
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	18	-65.5
	<i>Breakdown</i>	20	-66.4
2	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	-66.6
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	22	-73.3
	<i>Breakdown</i>	24	-75.9

Tabel 4. 8 Tabel kuat sinyal elektroda bahan tembaga berdiameter 2 mm

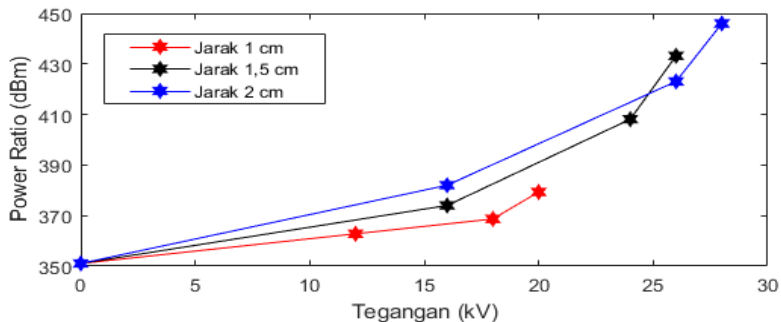
Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
1	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	359.07
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	16	370.80
	<i>Breakdown</i>	18	374.53
1.5	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	14	368.13
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	18	379.33
	<i>Breakdown</i>	20	384.13
2	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	385.20
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	22	420.93
	<i>Breakdown</i>	24	434.80

4.2.2.2 Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 5 mm Bahan Tembaga

Kuat sinyal pengujian pada elektroda *point to plane* bahan tembaga berdiameter 2 mm mengalami peningkatan yang linear seiring dengan penambahan suplai tegangan. Nilai yang diperoleh melalui pengujian adalah sinyal digital (dBfs). Nilai sinyal digital dikonversi menjadi kuat sinyal. Tabel 4.9 menampilkan data sinyal digital yang diperoleh. Nilai kuat sinyal kondisi normal adalah 351.07 dBm. Kuat sinyal yang dihasilkan dari 3 kondisi jarak berbeda-beda. Kuat sinyal akan meningkat seiring dengan penambahan jarak antar kedua elektroda.

Inception dan *breakdown voltage* dipengaruhi oleh jarak antar elektroda. *Inception voltage* yang dihasilkan oleh pengujian hampir sama. Hal tersebut terjadi karena kondisi minyak pengujian yang telah memiliki kontaminan. *Inception voltage* jarak 1.5 dan 2 cm memiliki nilai yang sama sebesar 16 kV sedangkan jarak 1 cm sebesar 12 kV. Nilai *inception voltage* diketahui melalui korona berupa bunyi desis. *Breakdown voltage* jarak 1 cm sebesar 20 kV, jarak 1.5 cm sebesar 26 kV dan 2cm sebesar 28kV. *Breakdown voltage* ditandai dengan adanya *spark*

diantara kedua elektroda. 2 kV sebelum *breakdown* diberikan tanda sebagai pembanding dengan metode *leakage current* nantinya. Gambar 4.5 menampilkan grafik tegangan terhadap kuat sinyal (*power ratio*) pada 3 kondisi jarak dengan menampilkan titik normal, *inception voltage*, 1 detik sebelum *breakdown* dan *breakdown*. Tabel 4.10 menampilkan nilai titik pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik kuat sinyal pengujian elektroda *point to plane* bahan tembaga diameter 5 mm

Tabel 4. 9 Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 5 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBfs
1	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	-62.4
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	18	-70.8
	<i>Breakdown</i>	20	-73.9
1.5	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	-64.5
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	24	-70.9
	<i>Breakdown</i>	26	-75.6
2	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	-66
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	26	-73.7
	<i>Breakdown</i>	28	-78

Tabel 4. 10 Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 5 mm

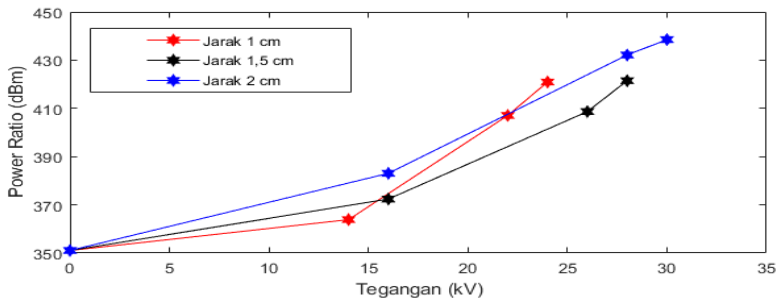
Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
1	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	12	362.80
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	18	407.60
	<i>Breakdown</i>	20	424.13
1.5	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	374.00
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	24	408.13
	<i>Breakdown</i>	26	433.20
2	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	382.00
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	26	423.07
	<i>Breakdown</i>	28	446.00

4.2.2.3 Analisis Kuat Sinyal Elektroda Point to Plane Diameter 6 mm Bahan Tembaga

Kuat sinyal pengujian pada elektroda *point to plane* bahan tembaga berdiameter 2 mm mengalami peningkatan yang linear seiring dengan penambahan suplai tegangan. Nilai yang diperoleh melalui pengujian adalah sinyal digital (dBfs). Nilai sinyal digital dikonversi menjadi kuat sinyal. Tabel 4.11 menampilkan data sinyal digital yang diperoleh. Nilai kuat sinyal kondisi normal adalah 351.07 dBm. Kuat sinyal yang dihasilkan dari 3 kondisi jarak berbeda-beda. Kuat sinyal akan meningkat seiring dengan penambahan jarak antar kedua elektroda.

Inception dan *breakdown voltage* dipengaruhi oleh jarak antar elektroda. *Inception voltage* yang dihasilkan oleh pengujian hampir sama. Hal tersebut terjadi karena kondisi minyak pengujian yang telah memiliki kontaminan. *Inception voltage* jarak 1.5 dan 2 cm memiliki nilai yang sama sebesar 16 kV sedangkan jarak 1 cm sebesar 14 kV. Nilai *inception voltage* diketahui melalui korona berupa bunyi desis. *Breakdown voltage* jarak 1 cm sebesar 24 kV, jarak 1.5 cm sebesar 28 kV

dan 2cm sebesar 30 kV. *Breakdown voltage* ditandai dengan adanya *spark* diantara kedua elektroda. 2 kV sebelum *breakdown* diberikan tanda sebagai pembanding dengan metode *leakage current* nantinya. Gambar 4.6 menampilkan grafik tegangan terhadap kuat sinyal (*power ratio*) pada 3 kondisi jarak dengan menampilkan titik normal, *inception voltage*, 1 detik sebelum *breakdown* dan *breakdown*. Tabel 4.12 menampilkan nilai titik pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik kuat sinyal pengujian elektroda *point to plane* bahan tembaga diameter 6 mm

Tabel 4. 11 Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 6 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBfs
1	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	14	-62.6
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	22	-70.7
	<i>Breakdown</i>	24	-73.3
1.5	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	-64.2
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	26	-71
	<i>Breakdown</i>	28	-73.4
2	Normal	0	-60.2
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	-66.2
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	28	-75.4
	<i>Breakdown</i>	30	-76.8

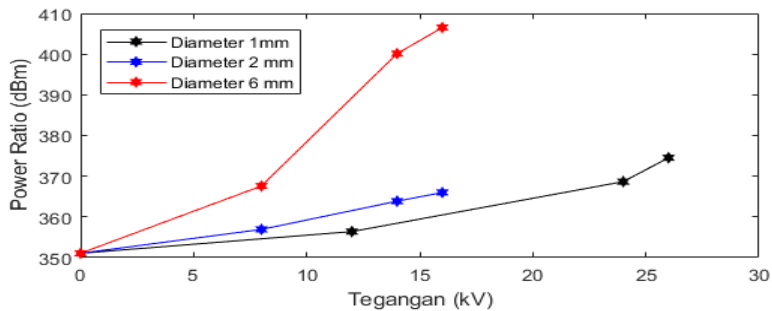
Tabel 4. 12 Tabel sinyal digital elektroda bahan tembaga berdiameter 6 mm

Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
1	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	14	363.87
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	22	407.07
	<i>Breakdown</i>	24	420.93
1.5	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	372.40
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	26	408.67
	<i>Breakdown</i>	28	421.47
2	Normal	0	351.07
	<i>Pre Breakdown (inception voltage)</i>	16	383.07
	1 detik sebelum <i>breakdown</i>	28	432.13
	<i>Breakdown</i>	30	439.60

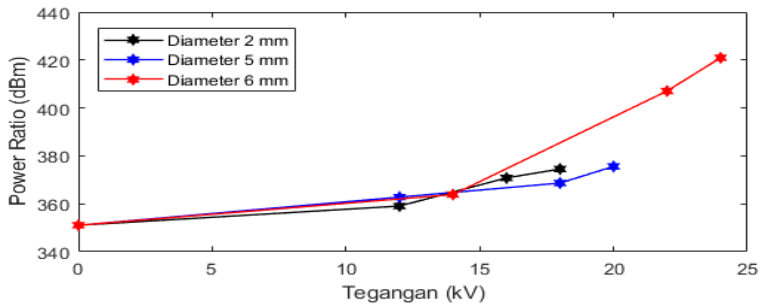
4.2.3 Analisis Kuat Sinyal Elektroda *Point to Plane* terhadap Perubahan Diameter

Kuat sinyal pengujian pada elektroda *point to plane* bahan tembaga dan *stainless steel* dengan perubahan diameter menghasilkan nilai yang relatif konstan ketika *inception voltage*. Nilai kuat sinyal ketika normal adalah 351.07 dBm. Diameter dengan kuat sinyal terbesar adalah diameter 6 mm untuk kedua bahan. Nilai kuat sinyal akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan diameter. Kuat sinyal saat kondisi *breakdown* relatif tidak stabil.

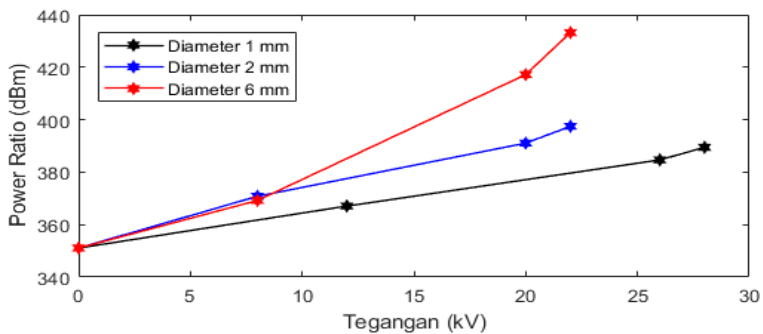
Inception dan *breakdown voltage* pada pengujian memiliki pengaruh yang berbeda terhadap perubahan diameter. *Inception voltage* ketika diameter berubah menghasilkan nilai yang hampir sama. *Breakdown voltage* pengujian menghasilkan nilai yang berbeda – beda. Gambar 4.7, 4.8 dan 4.9.



Gambar 4. 7 Grafik kuat sinyal pengujian 3 macam model diameter elektroda *point to plane* bahan *stainless steel* dengan jarak sela 1 cm



Gambar 4. 8 Grafik kuat sinyal pengujian 3 macam model diameter elektroda *point to plane* bahan tembaga dengan jarak sela 1.5 cm

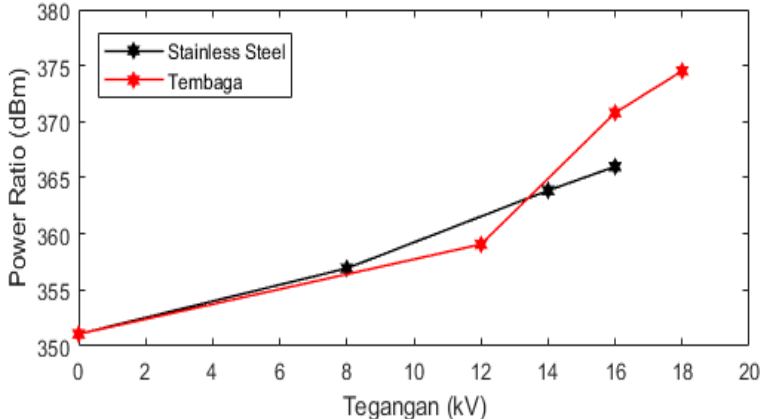


Gambar 4. 9 Grafik kuat sinyal pengujian 3 macam model diameter elektroda *point to plane* bahan *stainless steel* dengan jarak sela 2 cm

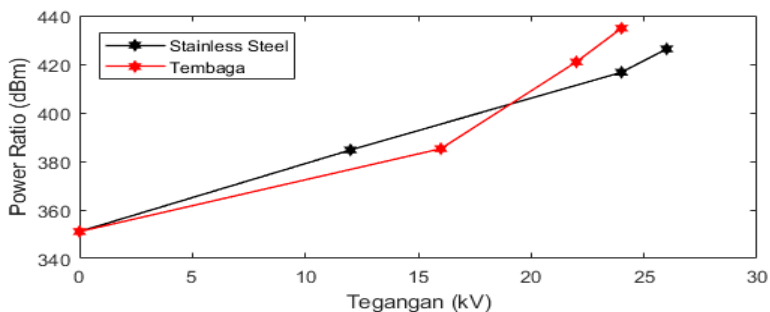
4.2.4 Analisis Kuat Sinyal Elektroda *Point to Plane* terhadap Perbedaan Bahan *Stainless Steel* dan Tembaga

Kuat sinyal ketika pengujian *breakdown voltage* dengan menggunakan bahan *stainless steel* dan tembaga menghasilkan perbedaan ketika *inception* dan *breakdown voltage*. Kondisi *pre breakdown* menghasilkan perbedaan kuat sinyal yang tidak signifikan antara kedua bahan. Perbedaan kuat sinyal maksimum pada kondisi pre-breakdown hanya 3.73 dBm. Kondisi *breakdown* menghasilkan perbedaan kuat sinyal yang relatif besar. Nilai perbedaan maksimum dapat mencapai 14.40 dBm. Berdasarkan hasil eksperimen dapat diketahui bahwa Semakin besar jarak antar elektroda maka perbedaan kuat sinyal antar kedua bahan akan semakin kecil.

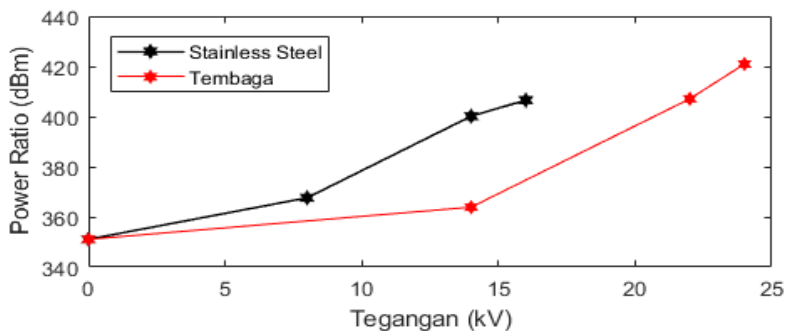
Inception dan *breakdown voltage* kedua kondisi mengalami perbedaan yang cukup signifikan. Nilai tegangan *pre-breakdown* bahan tembaga lebih tinggi dibandingkan bahan *stainless steel*. *Breakdown voltage* tembaga dengan diameter 6 mm lebih tinggi dibandingkan *stainless steel*. Ilustrasi grafik dari gambar 4.10 hingga 4.13 menampilkan hasil pengujian.



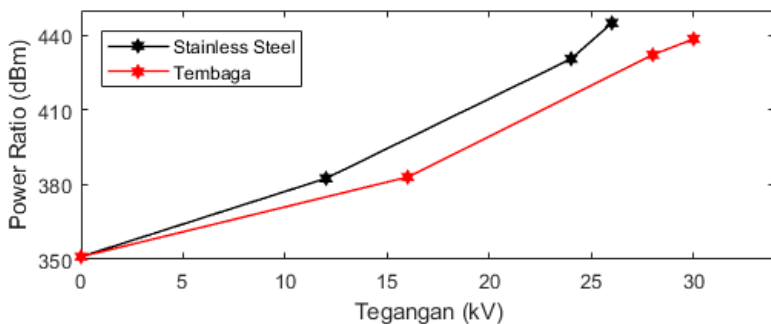
Gambar 4. 10 Grafik kuat sinyal terhadap tegangan dengan 2 bahan berbeda pada jarak sela 1 cm dan diameter 2mm.



Gambar 4.11 Grafik kuat sinyal terhadap tegangan dengan 2 bahan berbeda pada jarak sela 2 cm dan diameter 2 mm.



Gambar 4.12 Grafik kuat sinyal terhadap tegangan dengan 2 bahan berbeda pada jarak sela 1 cm dan diameter 6 mm



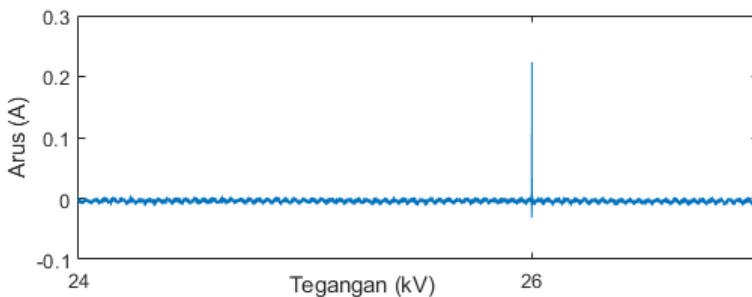
Gambar 4.13 Grafik kuat sinyal terhadap tegangan dengan 2 bahan berbeda pada jarak sela 2 cm dan diameter 6 mm

4.3 Validasi Data Menggunakan Metode *Leakage Current*

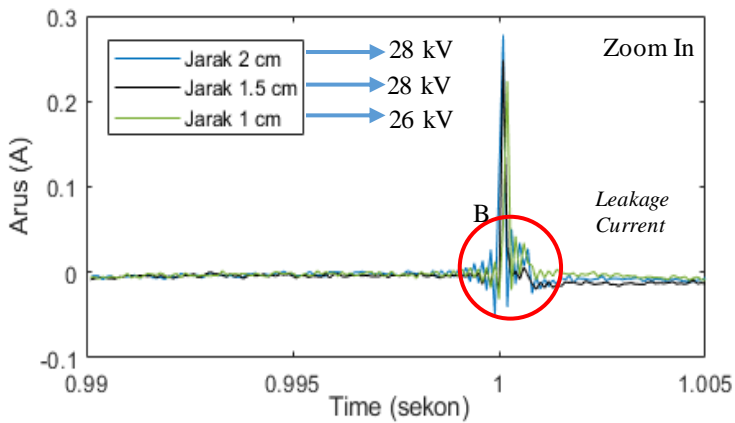
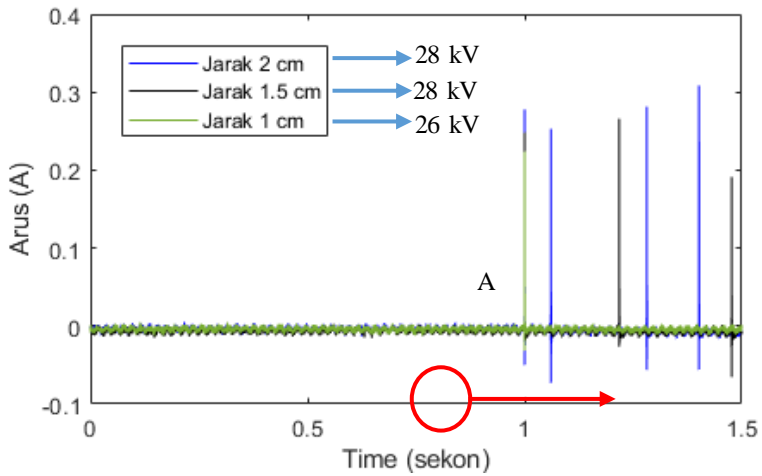
Metode *leakage current* yang digunakan adalah *plotting* arus bocor dari kondisi normal hingga *breakdown*. metode *leakage current* digunakan untuk validasi data kuat sinyal. Sinyal arus ditampilkan dengan menggunakan *Current Transformer* dan *National Instrument 9246* untuk deteksi arus. *Software* akuisisi data yang digunakan adalah *LABView*. Pengolahan data *sampling* menggunakan *software* *Diadem*. *Plotting* gambar dan pemotongan gambar menggunakan *software* *Matlab*. Periode waktu pengambilan *sampling* adalah 0.001 sekon.

Data yang divalidasi adalah nilai kuat sinyal (dBm) pada kondisi 1 dan 0.01 sekon sebelum *breakdown*. 1 sekon sebelum *breakdown* menggunakan tegangan *breakdown* yang telah dikurangi 2 kV. Gambar 4.14 memvisualisasikan grafik arus terhadap tegangan pada waktu 1 sekon dan 2 kV. Melalui gambar tersebut dapat diketahui bahwa pada waktu 1 sekon dan 2kV sebelum *breakdown* akan sulit untuk menentukan titik *pre-breakdown*. Waktu pada detik 1 telah mencapai titik *breakdown* dengan nilai tegangan sesuai dengan nilai panah biru di legenda. Setiap 3 kondisi jarak di rekapitulasi menjadi 1 grafik dengan waktu yang sama. Rekapitulasi yang dilakukan terhadap jarak 1, 1.5 dan 2 cm pada diameter tertentu. Analisa dilakukan pada kondisi tersebut karena nilai dan sinyal arus *Pre-Breakdown* yang terlihat hanyalah saat mendekati *breakdown*.

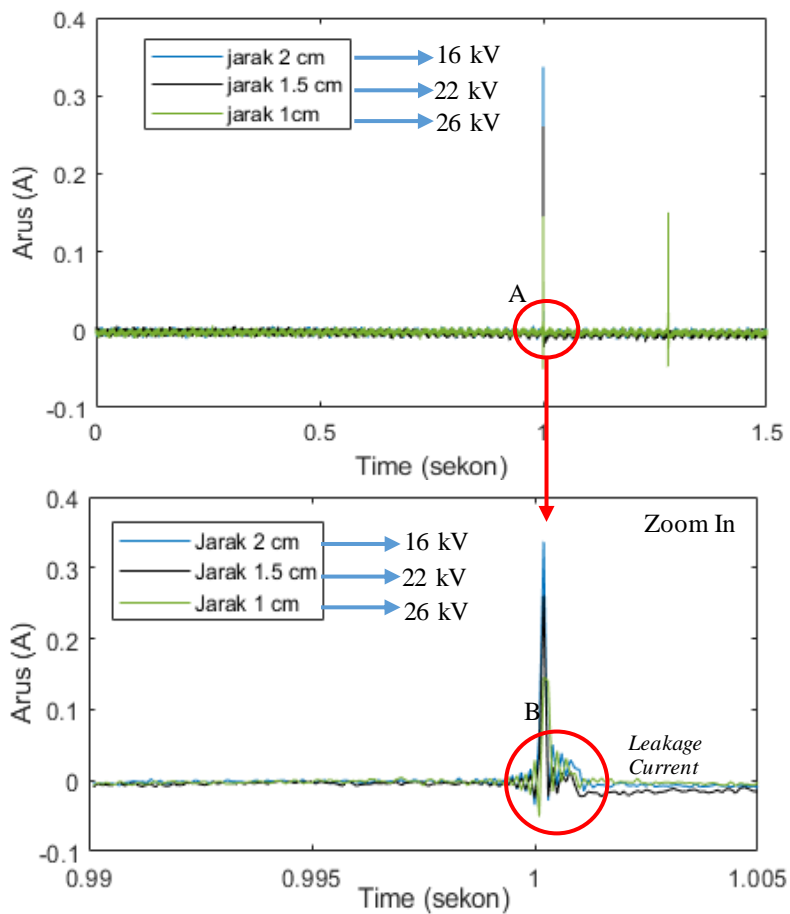
Melalui gambar 4.15 hingga 4.20 dapat di ketahui bahwa sinyal yang di deteksi oleh modul RTL-SDR adalah sinyal *partial discharge*. waktu 0.99 sekon hingga 1.005 sekon menunjukkan lonjakan arus bocor (*leakage current*).



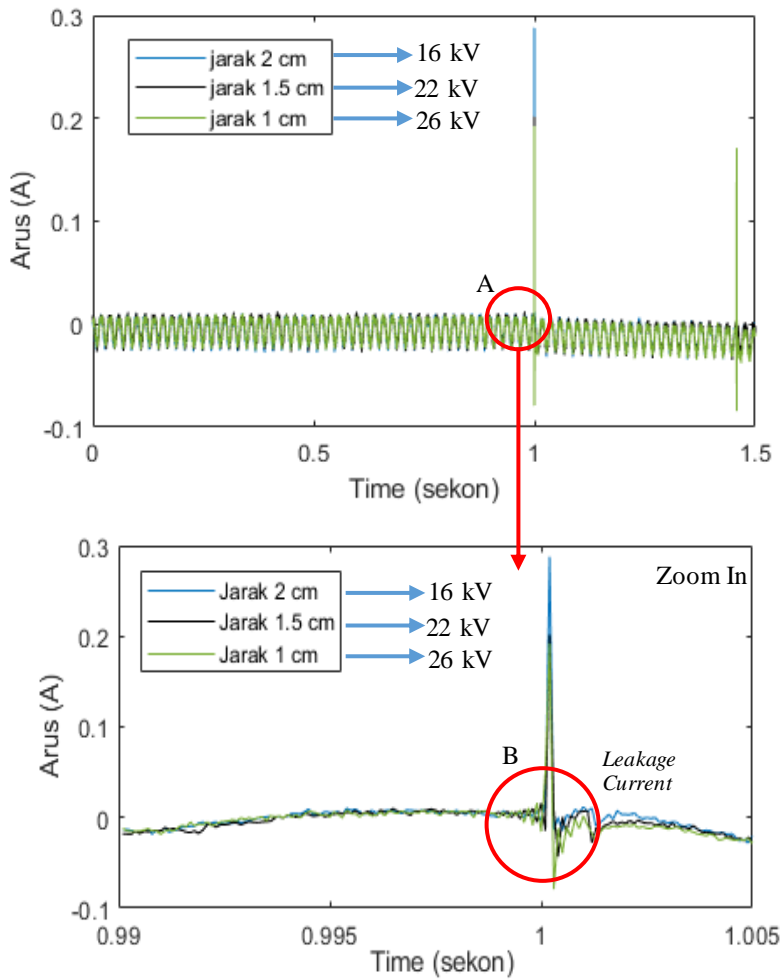
Gambar 4. 14 Grafik tegangan terhadap arus pada *pre-breakdown* hingga *breakdown*.



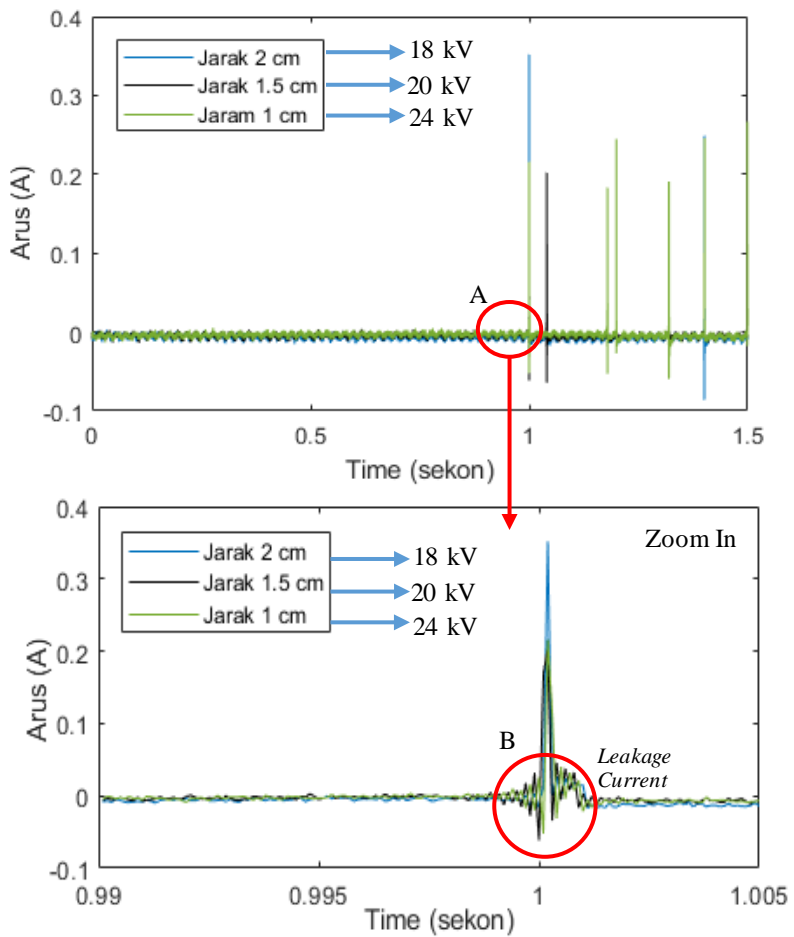
Gambar 4. 15 Grafik *Leakage Current* elektroda *stainless steel* diameter 1 mm



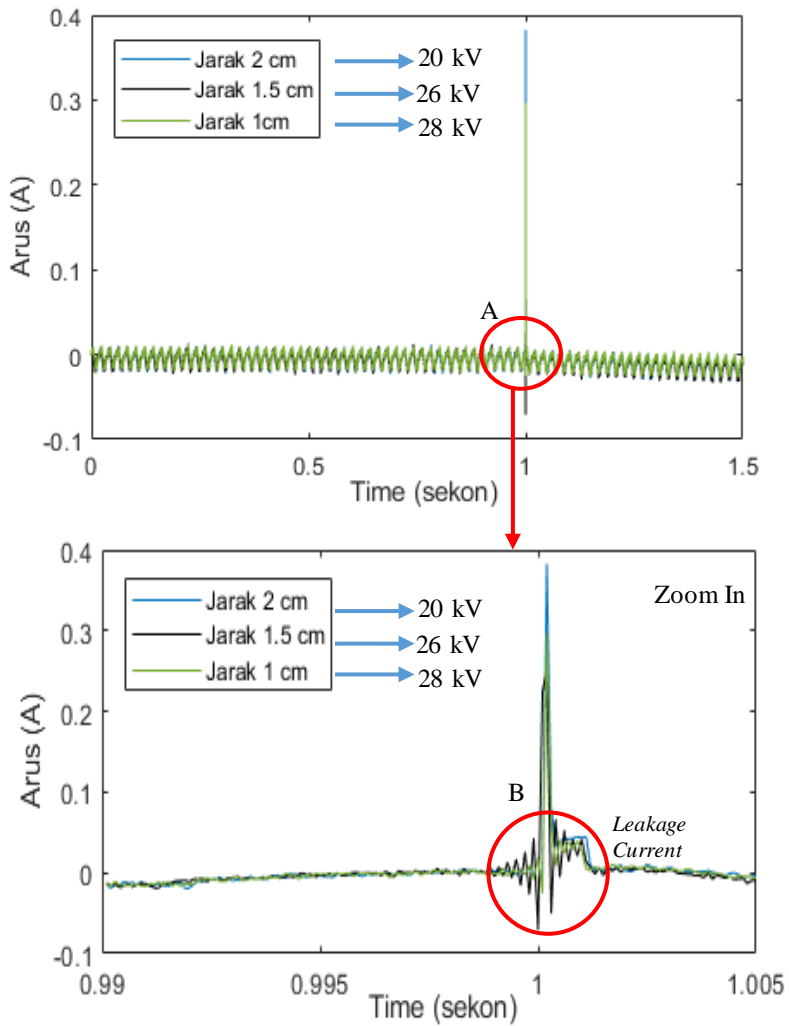
Gambar 4. 16 Grafik *Leakage Current* elektroda stainless steel diameter 2 mm



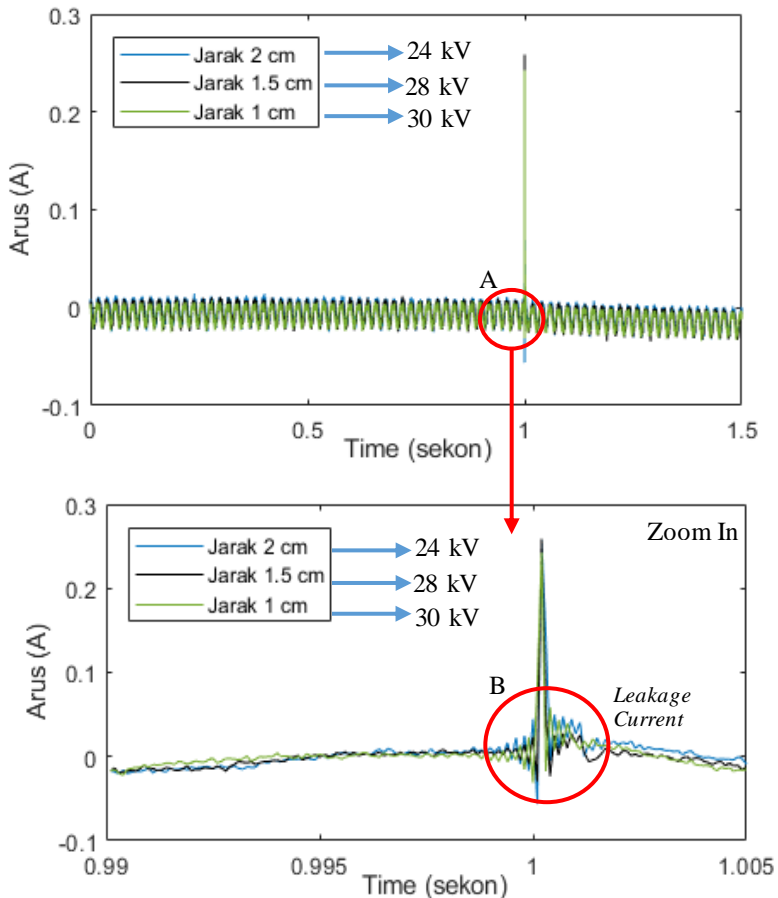
Gambar 4. 17 Grafik *Leakage Current* elektroda *stainless steel* diameter 6 mm



Gambar 4. 18 Grafik *Leakage Current* elektroda tembaga diameter 2 mm



Gambar 4. 19 Grafik *Leakage Current* elektroda tembaga diameter 5 mm



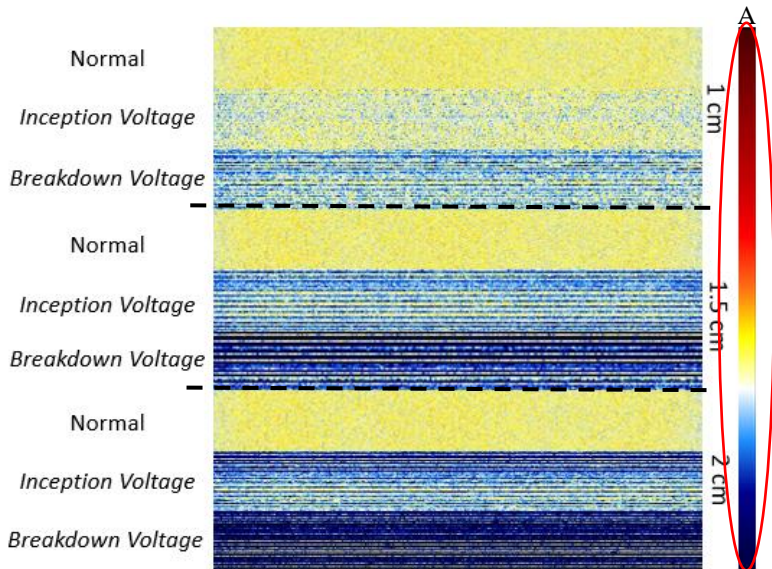
Gambar 4. 20 Grafik *Leakage Current* elektroda tembaga diameter 6 mm

Berdasarkan gambar 4.15 hingga 4.20 diketahui bahwa lonjakan arus akan semakin tinggi jika jarak semakin besar. Nilai arus bocor tidak selamanya positif atau negatif karena menggunakan sumber tegangan AC. Gambar *zoom in* merupakan perbesaran dari proses *leakage current* di lingkaran A pada waktu 0.99 hingga 1.005 sekon. Lonjakan pada titik B menggambarkan beberapa milisekon sebelum, saat dan setelah *breakdown voltage*.

4.4 Validasi Data menggunakan Spektrum Warna

Spektrum warna yang dihasilkan oleh *software* SDRSharp dipengaruhi oleh pengaturan *RF gain* dan sinyal yang diterima antenna. Warna dasar spectrum dan nilai dasar sinyal digital (dBfs) dapat diatur oleh *offset* jaringan. Pengaturan *offset* untuk deteksi *partial discharge* menggunakan warna dasar oren sedikit bercampur biru. Pemilihan dasar warna dapat ditentukan pada lingkaran A digambar 4.21. Pola warna yang sama menandakan tidak adanya *noise* di sekitar antenna.

Semakin membirunya spectrum warna maka dapat diketahui adanya sinyal bebas (seperti *partial discharge*) yang diterima antenna. Munculnya *partial discharge* akan ditandai dengan perubahan warna dan pergeseran nilai kuat sinyal (dBfs). Warna yang berubah ke biru akan menandakan kuat sinyal yang diterima semakin besar. Validasi data hanya dilakukan pada beberapa sampel yaitu jarak 1, 1.5 dan 2 cm dari elektroda *stainless steel* tajam berdiameter 2 mm. Gambar 4.21 menampilkan standart perubahan sinyal dengan beberapa kondisi spectrum warna.

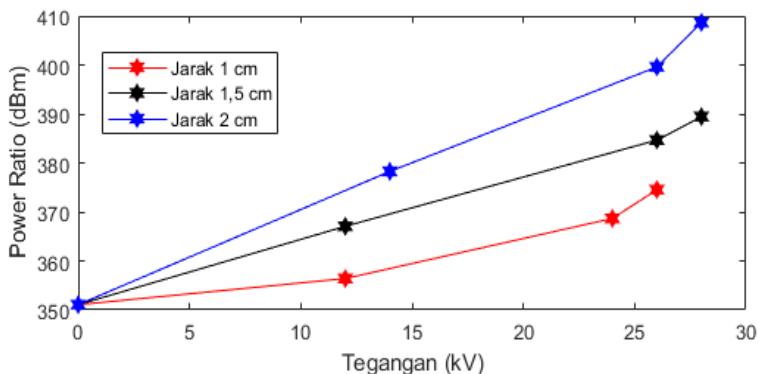


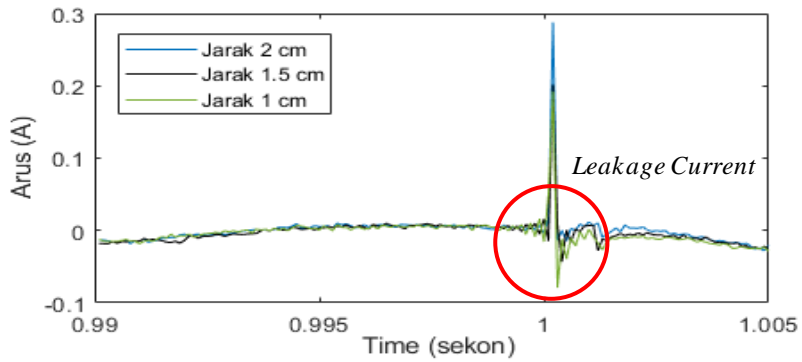
Gambar 4. 21 *Spectrum waterfall* elektroda *point to plane* jarak 1 hingga 2 cm dengan diameter 2mm

Melalui gambar 4.21 diketahui bahwa peningkatan tegangan akan merubah spectrum warna sesuai dengan standart warna spectrum. Peningkatan jarak juga mempengaruhi spectrum warna sehingga semakin membiru. Perubahan warna sesuai dengan peningkatan kuat sinyal sehingga dapat diketahui bahwa sinyal yang di terima oleh antenna adalah *partial discharge*.

4.5 Komparasi Metode Deteksi *Partial Discharge* dengan Metode UHF dan *Leakage Current*

Metode deteksi *partial discharge* dengan metode UHF memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode *leakage current*. Metode UHF dapat dilakukan saat sistem sedang berjalan sehingga tidak memerlukan pelimpahan beban seperti metode *leakage current*. Investasi deteksi dengan metode UHF lebih murah dibandingkan dengan metode *leakage current* karena hanya memerlukan modul RTL-SDR dan antenna. Antenna memiliki sensitivitas yang tinggi sehingga dapat mendeteksi *partial discharge* sejak dini sedangkan metode *leakage current* hanya dapat mendeteksi beberapa milisekon sebelum *breakdown*. Gambar 4.22 menampilkan perbedaan sensitivitas deteksi dengan metode UHF dan *leakage current*.





Gambar 4. 22 Perbedaan deteksi *partial discharge* dengan metode UHF dan *leakage current*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis mengenai deteksi *partial discharge* menggunakan metode UHF (*Ultra High Frequency*) pada isolasi cair memiliki beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Jarak dan diameter elektroda akan mempengaruhi kuat sinyal (dBm) yang diterima oleh antenna
2. Jarak dan diameter elektroda mempengaruhi nilai *inception voltage* dan *breakdown voltage* dari isolasi minyak
3. Metode deteksi *partial discharge* dapat dilakukan dengan menggunakan metode UHF (*Ultra High Frequency*) dan *leakage current*
4. Metode *leakage current* untuk deteksi *partial discharge* memiliki sensitivitas rendah yang hanya dapat mendeteksi kurang dari 1 sekon sebelum breakdown sehingga sulit untuk mengidentifikasi kondisi *pre-breakdown* dari isolasi minyak.
5. Metode UHF dengan menggunakan kuat sinyal berkaitan erat dengan *spectrum waterfall* karena perubahan kuat sinyal akan bersesuaian dengan perubahan warna spektrum. Perubahan warna akan sesuai dengan standart spektrum warna.
6. Semakin tinggi kuat sinyal yang dihasilkan ketika *Pre-Breakdown* maka perubahan kuat sinyal dan spektrum warna akan semakin signifikan
7. Deteksi *partial discharge* menggunakan metode UHF akan lebih baik dibandingkan dengan metode *leakage current* karena metode UHF memiliki sensitivitas yang tinggi.

5.2 Saran

Tugas akhir dengan metode UHF dapat dikembangkan menjadi beberapa penelitian dan tugas akhir sebagai berikut:

1. Deteksi *partial discharge* dilakukan pada frekuensi tinggi karena berdasarkan beberapa referensi diketahui bahwa kuat sinyal ketika *Pre-Breakdown* di titik VHF (*Very High Frequency*) lebih besar dibandingkan ketika UHF.
2. Jarak antara antenna dengan titik elektroda sangat berpengaruh terhadap kuat sinyal yang diterima antenna. Sehingga eksperimen tentang pengaruh perubahan jarak antenna dengan elektroda terhadap metode UHF dapat dijadikan penelitian selanjutnya.

3. Studi pengaruh berbagai bahan isolasi minyak terhadap deteksi *partial discharge* dengan metode UHF dapat dilakukan pada masa mendatang karena setiap bahan isolasi memiliki tegangan tembus dan kuat sinyal yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Ra and U. Khayam, "Partial Discharge Measurement of 4 Types of Electrodes Configuration in Air Insulation using High Frequency Current Transformer Sensor," *Jt. Int. Conf. Electr. Veh. Technol. Ind. Mech. Electr. Chem. Eng. ICEVT IMECE*, vol. 4D1, no. 4, pp. 100–105, Nov. 2015.
- [2] L. M. Salvatierra *et al.*, "Self-healing during electrical treeing: A feature of the two-phase liquid-solid nature of silicone gels," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 23, no. 2, pp. 757–767, Apr. 2016.
- [3] W. R. Putra, I. M. Negara, and I. Satriyadi, "Pengaruh Bentuk dan Material Elektrode terhadap," *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 1, p. 5, 2015.
- [4] A. Bhure, E. G. Strangas, J. Agapiou, and R. M. Lesperance, "Partial Discharge Detection In Medium Voltage Stators Using an Antenna," *IEEE Conf. Publ.*, pp. 480–485, Sep. 2017.
- [5] H. Mohamed *et al.*, "Partial discharge detection using low cost RTL-SDR model for wideband spectrum sensing," 2016, pp. 1–5.
- [6] H. Mohamed *et al.*, "Partial discharge detection using software defined radio," 2016, pp. 373–376.
- [7] I. M. Yulistya Negara, *Teknik Tegangan Tinggi : Prinsip dan Aplikasi Praktis*, First. Graha Ilmu, 2013.
- [8] I. A. R. Gray, "RELATIVE PERMITTIVITY (DIELECTRIC CONSTANT)," p. 6.
- [9] E. Kuffel, W. S. Zaengl, and J. Kuffel, *High voltage engineering: fundamentals*, 2. ed., reprint. Amsterdam: Newnes, Elsevier, 2008.
- [10] F. RAMADHAN, "MONITORING PARTIAL DISCHARGE PADA BUSHING TRANSFORMATOR," p. 73, 2011.
- [11] N. H. Sabri, A. W. Azlan, R. Umar, S. S. Sulan, Z. A. Ibrahim, and W. Z. A. Wan, "THE EFFECT OF SOLAR RADIATION ON RADIO SIGNAL FOR RADIO ASTRONOMY PURPOSES," vol. 19, no. 6, p. 8, 2015.
- [12] F. A. Manurung and N. Mubarakah, "ANALISIS LINK BUDGET UNTUK KONEKSI RADIO WIRELESS LOCAL AREA NETWORK (WLAN) 802.11B DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI RADIO MOBILE (STUDI KASUS PADA JALAN KARTINI SIANTAR – AMBARISAN)," vol. 7, no. 2, p. 6, 2014.
- [13] Y. Li, Q. Meng, P. Yang, Z. Zhao, W. Zhang, and Z. Pan, "Analysis on the Influence Factors of Capacitor Voltage Transformer Dielectric

- Loss Measurement,” *Energy Power Eng.*, vol. 05, no. 04, pp. 1240–1242, 2013.
- [14] M. H. Rahman and M. M. Islam, “A Practical Approach to Spectrum Analyzing Unit Using RTL-SDR,” *Rajshahi Univ. J. Sci. Eng.*, vol. 44, p. 151, Nov. 2016.
 - [15] Department of Electrical and Electronics Engineering, Federal University of Technology, PMB 65, Minna, Nigeria and E. A. Yahaya, “Power loss due to Corona on High Voltage Transmission Lines,” *IOSR J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 14–19, 2013.
 - [16] W. Sima, C. Jiang, P. Lewin, Q. Yang, and T. Yuan, “Modeling of the Partial Discharge Process in a Liquid Dielectric: Effect of Applied Voltage, Gap Distance, and Electrode Type,” *Energies*, vol. 6, no. 2, pp. 934–952, Feb. 2013.
 - [17] J. Chrzanowski, Y. Kravtsov, and B. Bieg, “Application of the work function to study the percentage composition of aluminum alloys,” p. 5.
 - [18] N. Barrett *et al.*, “Microscopic work function anisotropy and surface chemistry of 316L stainless steel using photoelectron emission microscopy,” *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.*, vol. 195, pp. 117–124, Aug. 2014.
 - [19] F. Álvarez, F. Garnacho, J. Ortego, and M. Sánchez-Urán, “Application of HFCT and UHF Sensors in On-Line Partial Discharge Measurements for Insulation Diagnosis of High Voltage Equipment,” *Sensors*, vol. 15, pp. 7360–7387, Mar. 2015.

RIWAYAT HIDUP



Hadi Lizikri Al Azmi lahir pada tanggal 9 Desember 1996 di pulau Batam. Anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDS Harmoni Batam pada tahun 2002 – 2008, melanjutkan pendidikan di SMPN6 Batam pada tahun 2008-2011, menempuh jenjang setelahnya di SMAN1 Batam dari tahun 2011 hingga 2014. Penulis memulai jenjang perkuliahan pada tahun 2014 di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi

Sepuluh Nopember dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selama kuliah penulis aktif di keilmiahan dan beberapa organisasi. Penulis aktif di KALPATARU Elektro dan Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATEKTRO). Penulis pernah menjuarai beberapa kompetisi keilmiahan seperti LKTIN Excess 2018 dan LKTIM Unnes. Saat ini penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Tegangan Tinggi.

Penulis dapat dihubungi melalui *email* : hadi_liziqri0912@yahoo.co.id